



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil
2015

**Ricardo Jorge Borges
Duarte**

**NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DO RUÍDO
AMBIENTE DE HOSPITAIS – CASOS DE ESTUDO**



**Ricardo Jorge Borges
Duarte**

NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DO RUÍDO AMBIENTE DE HOSPITAIS – CASOS DE ESTUDO

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa, Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil de Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho a minha mãe

O júri

Presidente

Prof. Doutor Miguel Nuno Lobato de Sousa Monteiro de Morais
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António José Barbosa Samagaio
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Ao terminar este trabalho, quero agradecer e reconhecer todos os que me ajudaram de alguma forma e que direta ou indiretamente contribuíram para sua realização.

Professora Doutora Ana Luísa Velosa, orientadora deste trabalho, pelo seu empenho e disponibilidade que sempre demonstrou. Agradeço todos os seus ensinamentos e pela apreciação do trabalho;

A empresa ASL & Associados, que me permitiu utilizar os seus equipamentos, que foram fundamentais para a realização das medições. E acima de tudo pelo apoio que sempre me prestaram, desde que lá iniciei a minha vida profissional, e a todos os colaboradores da empresa que sempre me apoiaram;

À minha família e amigos de quem tanto me orgulho e tanto apoio me prestaram.

Palavras-chave

Acústica, ruído, som total, som residual, zona mista, zona sensível, medições acústicas, níveis de pressão sonora.

Resumo

O presente trabalho visou estudar dois casos de estudo, em relação aos níveis de pressão sonora do ruído ambiente de hospitais.

O trabalho é constituído por uma introdução relativa à acústica, explicitando os seus conceitos, o enquadramento legal português, procedimentos de medição, onde se inclui um vasto conjunto de termos, definições e terminologias, procedimento de cálculo e avaliação das incertezas. São apresentadas as medições executadas, verificada a conformidade legal e finalmente, apresentadas algumas soluções mitigadoras do ruído

Keywords

Acoustics, noise, environmental noise levels, mixed zone, sensitive zone, acoustic measurements, sound pressure levels

Abstract

The present paper proposes studying two cases that are relative to the sound pressure levels of environmental noise of hospitals. The work consists of an introduction on acoustics, explaining their concepts, the portuguese legal framework, measurement procedures, which includes a wide range of terms, definitions and terminology, procedures of calculation and evaluation of uncertainties. The result of the measurements are presented, the legal compliance is verified and finally, presented some mitigating noise solutions.

Índice Geral

Índice Geral	i
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização do trabalho	3
Capítulo 2 – Estado do conhecimento	4
2.1. Conceitos de acústica	5
2.1.1. Análise da pressão	5
2.1.1.1. Propagação do som	5
2.1.1.2. Pressão Atmosférica e Temperatura	5
2.1.1.3. Intensidade e Potência Sonora	6
2.1.1.4. Níveis Sonoros	8
2.1.1.5. Direccionalidade	9
2.1.2. Análise em frequência	9
2.1.2.1. Tipos de som	10
2.1.2.2. Bandas de frequência	10
2.1.2.3. Curvas de Ponderação	11
2.1.2.4. Comprimento de onda	12
2.1.3. Análise no tempo	13
2.2. Acústica de exteriores	13
2.2.1. Atenuação por divergência geométrica	14
2.2.2. Atenuação devida ao ar	15
2.2.3. Atenuação devida à absorção pelo solo	16
2.2.4. Ação dos gradientes de temperatura e a velocidade do vento	19
2.2.5. Atenuação devida à densa vegetação	21
2.2.6. Atenuação devida a propagação em zona industrial	21
2.2.7. Atenuação devida a edifícios	21
2.2.8. Ação do nevoeiro e chuva	22
2.3. Evolução da legislação	22
2.4. Enquadramento legal atual	25
2.4.1. Introdução	25
2.4.2. Regulação da produção de ruído	26
2.4.2.1. Valores limites de exposição	26
2.4.2.1.1. Zonas mistas	26
2.4.2.1.2. Zonas sensíveis	26
2.4.2.1.3. Recetores isolados	27
2.4.2.1.4. Zonas não classificadas	27
2.4.2.1.5. Métodos de verificação	27
2.4.3. Atividades ruidosas permanentes e temporárias	27
2.4.3.1. Atividades ruidosas permanentes	27
2.4.3.2. Atividades ruidosas temporárias	28
2.4.3.2.1. Licença especial de ruído temporária	28
2.4.4. Fiscalização	28
2.4.4.1. Acreditação	29

2.5. Normalização	29
2.5.1. Normas em vigor	30
Capítulo 3 – Procedimento de medição	31
3.1. Termos, definições e simbologia	31
3.1.1. Atividades	31
3.1.1.1. Atividade ruidosa permanente	31
3.1.1.2. Atividade ruidosa temporária	31
3.1.2. Expressão de níveis	31
3.1.2.1. Nível de pressão sonora ponderado no tempo e ponderação em frequência	31
3.1.2.2. Nível máximo de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado em frequência	32
3.1.2.3. Nível excedido em N % do tempo	32
3.1.2.4. Nível de pressão sonora de pico	32
3.1.2.5. Nível de exposição sonora	33
3.1.2.6. Nível sonoro contínuo equivalente	33
3.1.3. Intervalos de tempo	34
3.1.3.1. Intervalo de tempo de referência	34
3.1.3.2. Intervalo de tempo de longa duração	34
3.1.4. Avaliações	35
3.1.4.1. Avaliação acústica	35
3.1.4.2. Correção	35
3.1.4.3. Nível de avaliação	35
3.1.5. Designação do som	36
3.1.5.1. Som total	36
3.1.5.2. Som específico	36
3.1.5.3. Som residual	36
3.1.5.4. Som inicial	37
3.1.5.5. Som flutuante	37
3.1.5.6. Som intermitente	37
3.1.5.7. Emergência sonora	37
3.1.5.8. Som impulsivo	37
3.1.5.9. Som tonal	37
3.1.5.10. Som de baixa frequência	38
3.1.5.11. Ruído de Vizinhança	38
3.1.6. Fonte de Ruído	38
3.1.6.1. Fontes sonoras impulsivas	38
3.1.6.2. Fonte sonora impulsiva de alta-energia	38
3.1.6.3. Fonte sonora de elevada impulsividade	39
3.1.6.4. Fonte sonora impulsiva regular	39
3.1.7. Métodos	39
3.1.7.1. Método de cálculo	39
3.1.7.2. Método de previsão	39
3.1.8. Intervalos	40
3.1.8.1. Intervalo de tempo de medição	40
3.1.8.2. Intervalo de tempo de observação	40
3.1.8.3. Janela meteorológica	40
3.1.8.3.1. Raio de curvatura dos trajetos de propagação sonora, R	40

3.1.9.	Indicadores de ruído	40
3.1.9.1.	Indicador de ruído diurno (L_d) ou (L_{day})	40
3.1.9.2.	Indicador de ruído do entardecer (L_e) ou ($L_{evening}$)	41
3.1.9.3.	Indicador de ruído noturno (L_n) ou (L_{night})	41
3.1.9.4.	Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den})	41
3.1.10.	Recetores	41
3.1.10.1.	Recetor sensível.....	41
3.1.10.2.	Local Recetor	41
3.1.11.	Infraestruturas.....	41
3.1.11.1.	Grande infraestrutura de transporte aéreo	41
3.1.11.2.	Infraestrutura de transporte ferroviário	42
3.1.11.3.	Grande infraestrutura de transporte ferroviário	42
3.1.11.4.	Grande infraestrutura de transporte rodoviário.....	42
3.1.11.5.	Infraestrutura de transporte	42
3.1.12.	Zonas.....	42
3.1.12.1.	Zonas sensíveis	42
3.1.12.2.	Zonas mistas	43
3.1.12.3.	Zonas urbana consolidada	43
3.1.13.	Mapa de ruído.....	43
3.1.14.	Períodos de referência	43
3.1.15.	Simbologia.....	43
3.2.	Procedimento de ensaio.....	44
3.2.1.	Determinação do nível sonoro médio de longa duração	44
3.2.1.1.	Generalidades	44
3.2.1.1.1.	Janelas de emissão (variações da emissão sonora)	44
3.2.1.1.2.	Janelas meteorológicas (variações meteorológicas)	45
3.2.1.1.2.1.	Condições de propagação	46
3.2.1.2.	Estudo prévio.....	48
3.2.1.3.	Posições do microfone	49
3.2.1.3.1.	Medições em campo livre.....	49
3.2.1.3.2.	Microfone sobre superfície refletora	49
3.2.1.3.3.	Microfone perto da superfície refletora	49
3.2.1.3.4.	Generalidades	50
3.2.1.3.5.	Exemplos do Guia prático para medições de ruído ambiente da Associação Portuguesa de Ambiente (6).....	50
3.2.1.4.	Tempo de medição	51
3.2.1.4.1.	Tráfego rodoviário	52
3.2.1.4.2.	Tráfego ferroviário	53
3.2.1.4.3.	Tráfego aéreo.....	53
3.2.1.4.4.	Instalações industriais	53
3.2.1.4.5.	Fontes sonoras de baixa frequência	54
3.2.1.4.6.	Exemplos do Guia prático para medições de ruído ambiente da Associação Portuguesa de Ambiente (6).....	54
3.2.1.5.	Medição do som residual	54
3.2.1.6.	Parâmetros a medir	55
3.2.1.7.	Representatividade da amostra e critérios de interrupção do ensaio	55
3.2.1.8.	Pausas nos ensaios.....	56
3.2.2.	Determinação do critério de incomodidade.....	57

3.2.2.1.	Generalidades	57
3.2.2.1.1.	Existência de reclamação prévia	57
3.2.2.1.2.	Inexistência de reclamação prévia (controlo preventivo)	57
3.2.2.2.	Posições do Microfone	58
3.2.2.3.	Tempo de medição	58
3.2.2.4.	Medição do som residual	59
3.2.2.5.	Parâmetros a medir	59
3.2.2.6.	Verificação da existência de ruído com características tonais.....	60
3.2.2.7.	Verificação da existência de ruído com características impulsivas...	60
3.3.	Equipamento utilizado	60
3.3.1.	Sonómetro	60
3.3.2.	Calibrador Acústico	61
3.3.3.	Termoanemómetro	63
3.3.4.	Higrómetro	63
3.4.	Procedimento de cálculo	64
3.4.1.	Nível sonoro médio de longa duração	64
3.4.2.	Critério de incomodidade	64
3.5.	Avaliação de incertezas na medição	65
3.5.1.	Nível sonoro médio de longa duração	65
3.5.1.1.	Componentes da incerteza	67
3.5.1.1.1.	Componente X:	67
3.5.1.1.2.	Componente $Y(\sigma_m)$	67
3.5.1.1.3.	Componente Z.....	68
3.5.2.	Critério de incomodidade	68
3.5.2.1.	Componentes da incerteza	69
3.5.2.1.1.	Componente X	69
3.5.2.1.2.	Componente $Y(\sigma_m)$	69
Capítulo 4 – Casos de estudo		70
4.1.	Novo Hospital de Braga	70
4.1.1.	Enquadramento geral	70
4.1.1.1.	Localização dos pontos de medição.....	72
4.1.2.	Resultados das medições	73
4.1.2.1.	Medições do nível sonoro médio de longa duração, L_{den}	73
4.1.2.1.1.	Ponto 1	75
4.1.2.1.2.	Conformidade.....	79
4.1.2.1.3.	Ponto 2	80
4.1.2.1.4.	Conformidade.....	84
4.1.2.1.5.	Ponto 3	85
4.1.2.1.6.	Conformidade.....	89
4.2.	Novo Hospital de Vila Franca de Xira.....	90
4.2.1.	Enquadramento geral	90
4.2.1.1.	Localização dos pontos de medição.....	94
4.2.2.	Resultados das medições	95
4.2.2.1.	Medições do nível sonoro médio de longa duração, L_{den}	95
4.2.2.1.1.	Ponto 1	96
4.2.2.1.2.	Conformidade.....	100
4.2.2.1.3.	Ponto 2	101
4.2.2.1.4.	Conformidade.....	105

4.2.2.1.5. Ponto 3.....	106
4.2.2.1.6. Conformidade.....	110
4.3. Análise de Resultados.....	110
4.4. Medidas Mitigadoras de ruído.....	111
4.4.1. Medidas preventivas de redução de ruído.....	111
4.4.1.1.1. Ponto 1.....	112
4.4.1.1.2. Ponto 2.....	112
4.4.2. Canópias acústicas.....	112
4.4.3. Atenuadores Acústicos.....	114
4.4.3.1. Atenuadores Dissipativos.....	115
4.4.3.2. Atenuadores Reativos.....	117
4.4.3.3. Atenuadores Combinado.....	118
4.4.4. Grelhas acústicas.....	119
4.4.5. Barreiras Acústicas.....	121
Capítulo 5 – Conclusões.....	123
Bibliografia.....	126
Anexos.....	129
A.1. Principal Legislação de Acústica.....	1
A.1.1. Ruído Ambiente.....	1
A.1.2. Exposição ao Ruído.....	2
A.1.3. Vibrações no Corpo Humano.....	2
A.1.4. Acústica de Edifícios.....	3
B.1. Resultados das medições.....	1
B.1.1. Novo Hospital de Braga.....	1
B.1.2. Novo Hospital de Vila Franca de Xira.....	4

Índice de Figuras

Figura 1 Propagação do som, a partir de uma fonte pontual no centro (1)	5
Figura 2 Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) (1).....	7
Figura 3 Curvas de igual sensibilidade auditiva (2)	11
Figura 4 Descrição das curvas de ponderação, A, B, C e D (2)	12
Figura 5 Diferenças básicas entre fonte sonora pontual (esq.) e fonte sonora Linear (dir.) (1)	15
Figura 6 Esquema das regiões de separação entre a fonte emissora e o ponto recetor (1).....	17
Figura 7 Efeito da variação da temperatura com a altura (decréscimo) (1).....	20
Figura 8 Efeito da variação da temperatura com a altura (aumento) (1)	20
Figura 9 Efeito da variação do vento com a altura (1)	20
Figura 10 Representação dos tipos de som (4).....	36
Figura 11 Condições de propagação do vento.....	46
Figura 12 Sonómetro (Brüel & Kjær 2250)	61
Figura 13 Calibrador acústico (Brüel & Kjær 4231)	62
Figura 14 Termoanemómetro (TSI Velocicalc Air Velocity meter 9535)	63
Figura 15 Higrómetro (Extech Instruments Hygrometer)	64
Figura 16 Novo Hospital de Braga	70
Figura 17 Mapa da Cidade de Braga, com a localização do Hospital (11)	71
Figura 18 Ambiente – Mapas de Longo Termo, L_{den} (12)	71
Figura 19 Visão geral do hospital e da sua envolvente	72
Figura 20 Novo Hospital de Vila Franca de Xira.....	90
Figura 21 Mapa de Vila Franca de Xira, com a localização do Hospital (11)	91
Figura 22 Vista Geral do Mapa de Ruído de Vila Franca de Xira.....	91
Figura 23 Ampliação do Mapa de ruído, com a localização do hospital, L_{den} (13) ..	92
Figura 24 Escala de cores, L_{den} (13)	92
Figura 25 Ampliação do Mapa de ruído, com a localização do hospital, L_n (13) ..	93
Figura 26 Escala de cores, L_n (13)	93
Figura 27 Visão geral do hospital e da sua envolvente	94
Figura 28 Canópia Acústica para geradores (14).....	113
Figura 29 Canópia acústica para geradores (14)	113

Figura 30 Atenuação, por frequência, em relação ao comprimento do atenuador (14).....	115
Figura 31 Atenuadores dissipativos (14)	116
Figura 32 Perda de Carga para Atenuadores (tipo Pronoise PSAE) (14)	116
Figura 33 Atenuador reativo (14).....	117
Figura 34 Atenuação sonora em atenuador reativo com camara de 150mm de comprimento.....	117
Figura 35 Atenuação sonora em atenuador reativo com camara de 1200mm de comprimento (14)	118
Figura 36 atenuação sonora em função da inclinação das paredes internas do atenuador (14).....	118
Figura 37 Curvas típicas de atenuação sonora dependente do tipo de atenuador (14).....	119
Figura 38 Grelha acústica (14)	119
Figura 39 Desenho interior das grelhas. (14)	120
Figura 40 Atenuação sonora de grelhas acústicas (14)	120
Figura 41 Perda de carga (Pa) (14).....	121
Figura 42 Percursos do campo sonoro (14)	122

Índice de Tabelas

Tabela 1 Gama de Frequências (humanos)	9
Tabela 2 Coeficientes de atenuação atmosférica α , dB/km	16
Tabela 3 Relação entre G e as características do solo	17
Tabela 4 Relação entre G e as características do solo (continuação)	17
Tabela 5 Cálculo de parâmetros A_s , A_r , e A_m	18
Tabela 6 Atenuação devida à vegetação em função da distância d, percorrida pelo som na vegetação densa (ISO/TR 17534-3:2015)	21
Tabela 7 Atenuação (A_{ind}) devida à propagação em zona industrial em função da distância percorrida pelo ruído nessa zona.....	21
Tabela 8 Evolução da legislação Nacional (3).....	22
Tabela 9 Evolução da legislação Nacional (3) (continuação)	23
Tabela 10 Evolução da legislação Nacional (3) (continuação)	24
Tabela 11 Períodos de referência	43
Tabela 12 Símbolos para nível de pressão e nível de exposição sonora.....	43
Tabela 13 Símbolos para nível de pressão e nível de exposição sonora (cont.)..	44
Tabela 14 Dados climatéricos	47
Tabela 15 Dados sinópticos das condições climatéricas	48
Tabela 16 Valor D, de acréscimos aos limites do critério de incomodidade.....	65
Tabela 17 Desvio padrão relativo à posição.....	67
Tabela 18 Localização dos pontos de medição para som total	73
Tabela 19 Ponto de medição para som residual	73
Tabela 20 Dados das medições – Ponto 1 – 1ª Campanha	75
Tabela 21 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 1.....	76
Tabela 22 – Dados das medições – Ponto 1 – 2ª Campanha	77
Tabela 23 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 2.....	78
Tabela 24 Comparação dos resultados aos limites legais	79
Tabela 25 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha	80
Tabela 26 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 1.....	81
Tabela 27 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha	82
Tabela 28 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 2.....	83
Tabela 29 Comparação dos resultados aos limites legais	84

Tabela 30 Dados das medições – Ponto 3 – 1ª Campanha	85
Tabela 31 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 1.....	86
Tabela 32 – Dados das medições – Ponto 3 – 2ª Campanha	87
Tabela 33 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 2.....	88
Tabela 34 Comparação dos resultados aos limites legais	89
Tabela 35 Localização dos pontos de medição para som total	95
Tabela 36 Dados das medições – Ponto 1 – 1ª Campanha	96
Tabela 37 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 1.....	97
Tabela 38 – Dados das medições – Ponto 1 – 2ª Campanha	98
Tabela 39 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 2.....	99
Tabela 40 Comparação dos resultados aos limites legais	100
Tabela 41 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha.....	101
Tabela 42 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 1.....	102
Tabela 43 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha	103
Tabela 44 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 2.....	104
Tabela 45 Comparação dos resultados aos limites legais	105
Tabela 46 Dados das medições – Ponto 3 – 1ª Campanha	106
Tabela 47 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 1.....	107
Tabela 48 – Dados das medições – Ponto 3 – 2ª Campanha	108
Tabela 49 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 2.....	109
Tabela 50 Comparação dos resultados aos limites legais	110
Tabela 51 Resultados do Ponto 1	112
Tabela 52 Resultados do Ponto 2	112
Tabela 53 Soluções comerciais de Canópias Acústicas (14).....	114

Capítulo 1 – Introdução

No decorrer dos últimos anos surgiu, de um ponto de vista global e especificamente em Portugal, um aumento ao nível da preocupação na prevenção de ruídos e controlo da poluição sonora, aumentando exigência do ponto de vista do bem-estar da população assim como a salvaguarda da saúde humana.

Na atualidade verifica-se uma exigência de variados parâmetros em relação a qualidade de vida, sendo o conforto acústico e a qualidade do ruído ambiente dois parâmetros de elevada importância para a vida quotidiana. Nos últimos anos foi desenvolvida legislação que reforça as medidas preventivas no âmbito da poluição sonora, quer do ponto de vista do ambiente que nos rodeia, quer do ponto de vista da acústica dos próprios edifícios, que servem como a última barreira antirruído para população em geral.

O conforto acústico varia com o ouvido de cada ser humano. No entanto grandes infraestruturas, como vias urbanas de elevada circulação, aeroportos, caminhos-de-ferro, ou edifícios onde decorrem atividades industriais passíveis de provocar ruído, são facilmente culpáveis pela poluição sonora e desconforto. No entanto qualquer outro tipo de edifício ou atividade que provoque ruído pode ser classificado como perturbador do bem-estar. As máquinas de uso coletivo como unidades de tratamento de ar (UTA's), sistemas de climatização como ar condicionado, *chiller's*, exaustores de cozinhas, etc. devido a sua grande potência provocam ruído, e a sua localização, usualmente na cobertura, torna qualquer edifício num produtor de ruído.

No caso específico que se segue trata-se de avaliar o ruído provocado por dois hospitais e a afetação dos mesmos no ruído das áreas envolventes, encontrando também quais serão as suas fontes de ruído principais, assim como o respetivo enquadramento na legislação atual.

1.1. Motivação

Na disposição urbana, sempre que possível, as indústrias devem ser localizadas em áreas afastadas das zonas habitacionais. No entanto, próximo dos habitantes existe uma panóplia de outras edificações que também provocam ruído.

Na presente dissertação serão analisados dois edifícios que devido à sua atividade, são considerados como inseridos em zonas sensíveis, o novo Hospital de Braga, localizado em Sete Fontes, São Victor, Braga e o novo Hospital de Vila Franca de Xira, localizado em Povos, Vila Franca de Xira, que apesar de tudo se encontram próximos de zonas urbanas consolidadas. Os edifícios de grande porte, como são os hospitais contêm bastantes máquinas a produzir ruídos para o exterior, que podem ser suficientes para causar queixas nas suas vizinhanças, em especial quando estes contêm um elevado número de máquinas em áreas técnicas situadas, ou em contacto, com o exterior.

As câmaras municipais, como elemento licenciador, quer de edifícios quer de atividades, por vezes não solicitam elementos essenciais como são as medições do ruído ambiente e critério de incomodidade. Nestes dois casos de estudo, as medições foram executadas a como forma preventiva de forma a avaliar o ruído. No caso do hospital de Vila Franca de Xira, estas serviram também para o estudo de impacto ambiental que o hospital terá ao longo da sua vida útil.

1.2. Objetivos

O presente documento tem como objetivo avaliar a conformidade regulamentar, em relação ao Regulamento Geral de Ruído, Decreto-Lei nº9/2007 de 17 de Janeiro de 2009, assim como expor a metodologia das Normas Portuguesas NP ISO 1996-1, de 2011, Acústica Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente, Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação, e NP ISO 1996-2, de 2011, Acústica Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente, Parte 2: determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente.

Após apresentação da metodologia de ensaios, serão apresentados os resultados obtidos durante as campanhas de campo e será verificada a sua conformidade

regulamentar, assim como analisar potenciais causas da emissão de ruído e possíveis soluções mitigadoras. Será apresentada a legislação e normalização em vigor assim como um historial da evolução dos mesmo ao longo dos últimos anos.

1.3. Organização do trabalho

Esta dissertação tem o intuito de descrever todos os procedimentos relativos à medição da pressão sonora do ruído ambiente em dois hospitais, assim como apresentar os resultados e retirar as devidas conclusões regulamentares de forma a atestar a conformidade de ambos edifícios e as suas atividades. Para esse propósito o documento está dividido nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução geral e enquadramento da dissertação, assim como o objetivo e motivações que levaram a produção do trabalho;
- Capítulo 2 – Estado do conhecimento ao nível das medições de ruído ambiente, assim como conceitos de acústica, breve historial do ponto de vista da evolução normativa e regulamentar até à legislação atual.
- Capítulo 3 – Procedimentos de medição, termos e definições dos elementos necessários a elaboração de uma medição acústica,
- Capítulo 4 – Aborda os casos de estudo, explicitando cada um dos edifícios, atividades que ocorrem, ruído emitido e medições obtidas, assim como a produção dos resultados obtidos após as medições. Inclui a análise aos resultados obtidos, assim como potenciais medidas mitigadoras de ruído.
- Capítulo 5 – Conclusões sobre os resultados obtidos.

Sob a forma de anexos serão colocados os dados das medições e legislação de acústica.

Capítulo 2 – Estado do conhecimento

Na física, a acústica é o ramo que estuda as ondas sonoras. Esta divide-se em várias áreas, como bioacústica, psicoacústica, acústica musical, acústica de edifícios, acústica ambiental, entre outros (1). De uma forma geral trata-se de uma disciplina que estuda o som devido à vibração elástica nos gases, tendo o início do estudo neste campo sido perdido nas páginas da história (2). Primordialmente o estudo da acústica estava cingido à acústica musical, no entanto, filósofos como Pitágoras, Crisipus e outros tinham já abordado o fenómeno com uma perspetiva mais ampla.

O som consiste numa sensação provocada no cérebro devida à captação, pelo sistema auditivo, de alterações de pressão que se propagam por meio elástico, como ar, água, materiais de construção, entre outros, consistindo em ondas de compressão, seguidas de dilatação e rarefação das mesmas. (1) Respondendo a velha questão, “se uma árvore no meio da floresta cair e ninguém ouvir, será que emite som?” A resposta seria não, pois não existe nenhum ser vivo com um sistema auditivo para captar a alteração de pressão, o mesmo sucede com os microfones, pois estes não detetam sons, mas sim as já explicitas variações de pressão. (1)

Na legislação portuguesa, no âmbito do Decreto-Lei 9/2007, Regulamento Geral do Ruído, existe o conceito de ruído ambiente, ruído particular e ruído residual, termos que com a introdução das novas normas para medição e avaliação de ruído ambiente devem cair em desuso e substituídos por som total, som específico e som residual, respetivamente. A definição destes termos será aprofundada no capítulo 3, no entanto como refere Oliveira de Carvalho no seu livro de apontamentos acústica ambiental de edifícios, “Som” é tomado como as diferenças de pressão que são agradáveis ou com significado aos ouvintes e “Ruído” o oposto. No entanto, o som para uns pode ser ruído para outros em simultâneo. Para este tipo de conflitos o estado intervém através da legislação, daí existir o Regulamento Geral do Ruído, e não o Regulamento geral do Som (1)

2.1. Conceitos de acústica

Os conceitos de teóricos básicos expostos de seguida serão apresentados explicitando três domínios de análise distintos: Pressão, Frequência e Tempo.

2.1.1. Análise da pressão

2.1.1.1. Propagação do som

O som pode ser definido como a variação de pressão molecular, no ar ou noutro qualquer meio elástico que provoca o estímulo do sistema auditivo dando resultado à percepção do som. Simplificando para situações correntes, o som propaga-se no meio elástico, através de ondas concêntricas tendo a fonte sonora como o seu centro. Uma analogia simples será a de pensar numa pedra que cai num lago, e do ponto de impacto originam-se ondas concêntricas.

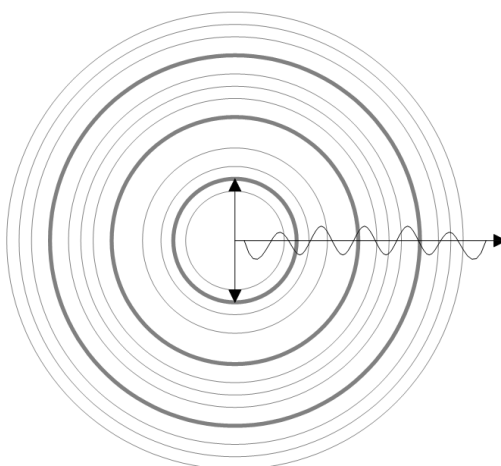


Figura 1 Propagação do som, a partir de uma fonte pontual no centro (1)

2.1.1.2. Pressão Atmosférica e Temperatura

O elemento mais importante a ser medido, será a variação de pressão provocada pelas ondas sonoras, sempre tomando como referência a pressão atmosférica normal P_{at} , que no nosso planeta temo o valor aproximado de 10^5 Pa. (1) É de notar

que a variação de pressão sonora é extremamente pequena, por exemplo, o ruído muito intenso de um avião não altera mais que 10 Pa. (1)

Para um meio ilimitado, homogêneo e não dissipativo, usando os princípios fundamentais da mecânica, é possível deduzir a lei de propagação das ondas de pressão sonora.

Admitindo uma fonte sonora pontual, esta provoca alterações na sua envolvente nas seguintes grandezas:

- Pressão p (Pa);
- Temperatura θ (°C);
- Massa Específica, ρ (kg/m³)

Após conjugação das variáveis, obteremos a lei geral de propagação das ondas de pressão sonora:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 p}{\delta t^2} \quad (2.1)$$

Em que c , é a celeridade, também conhecida como a velocidade de propagação das ondas sonoras em gases ideais.

$$c \cong 20,045\sqrt{T} \quad (2.2)$$

Em que:

$$T(K) = 273,15 + \theta(^{\circ}C) \quad (2.3)$$

2.1.1.3. Intensidade e Potência Sonora

Relacionado com a pressão existem outras grandezas importantes para a análise da propagação sonora tais como a intensidade sonora e a potência sonora.

A intensidade sonora (I) é, numa dada direção, a quantidade média de energia que atravessa por segundo uma área de 1m², normal a essa direção e quantifica-se em W/m². Em síntese, permite avaliar a componente direcional do som passando este

a ser representado por uma grandeza vetorial e não escalar como no caso da pressão sonora (1).

A potência sonora (W) é uma característica da fonte e não do estímulo criado por essa fonte num dado ponto ou direção como era o caso da pressão e da intensidade. Caracteriza-se como sendo a energia total que num segundo atravessa uma esfera fictícia de raio qualquer centrada na fonte e quantifica-se em W . (1)

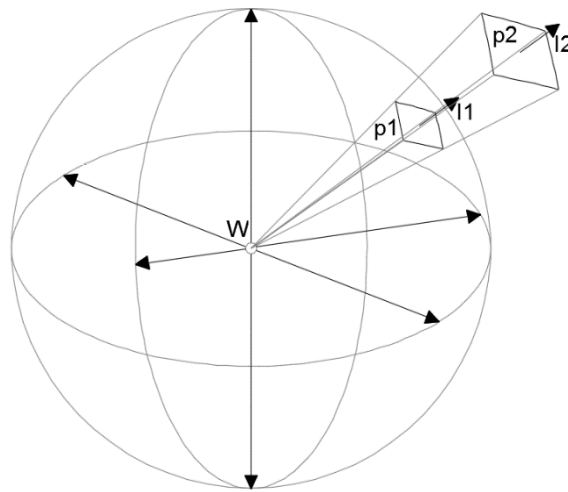


Figura 2 Inter-relação entre potência (W), pressão (p) e intensidade (I) (1)
Estas três grandezas (I , W e p) estão relacionadas entre si da seguinte forma:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.4)$$

Onde:

I - Intensidade sonora (W/m^2);

W - Potencia sonora (W);

r - Distancia (m);

p - Pressão sonora (Pa);

ρ - Massa volúmica (ar) $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$;

c - Celeridade (ar) $\approx 340 \text{ m/s}$;

2.1.1.4. Níveis Sonoros

O valor mínimo da variação de pressão que um ser humano jovem e de audição normal pode ouvir é de cerca de 10^{-5} Pa, o chamado limiar da audição. O máximo a partir do qual a sensação auditiva passa de som a dor dá-se com uma variação de pressão de cerca de 100 Pa, chamado limiar da dor. (1)

Desta forma a audição humana varia em cerca de 10^7 Pa, o que de ponto de vista prático, na medição de pressões, conduziria a variações de valores muito díspares e de utilização complexa. A isto, acresce o facto que o ouvido não responde de forma linear aos estímulos mas de modo quase logarítmico (1).

Pelas razões apresentadas, simplifica-se a avaliação destas grandezas através da utilização do decibel (dB). Em que a conversão de pressões (p) para níveis de pressão sonora (L_p) é efetuada pela seguinte fórmula:

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2.5)$$

Sendo p_0 - Pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa.

Para além da pressão, é possível caracterizar a intensidade sonora (I) e a potência sonora (W), através de níveis de intensidade sonora (L_I) e nível de potência sonora (L_W) em dB:

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} (dB)_{I_0} \quad (2.6)$$

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} (dB)_{W_0} \quad (2.7)$$

Em que:

I_0 - 10^{-12} W/m²

W_0 - 10^{-12} W

2.1.1.5. Direccionalidade

As fontes sonoras no exterior em geral não são omnidireccionais, ou seja, não emitem a mesma energia em todas as direções. Para avaliar a direccionalidade são utilizados os seguintes parâmetros:

Coeficiente de direccionalidade (Q) – Relação entre a intensidade acústica propagada numa dada direção e a que na mesma direção propagaria uma fonte omnidireccional da mesma potência. (1)

Índice de direccionalidade (G) numa dada direção – Relaciona-se com o coeficiente de direccionalidade (Q) através do 10 vezes o logaritmo de base 10 desta. (1)

2.1.2. Análise em frequência

A frequência, medida em Hz, é uma característica do sinal sonoro. Quase todos os sons são constituídos por diferentes frequências e é esta característica que muitas vezes nos permite diferenciar diferentes fontes sonoras. Esta representa a taxa de ocorrência das flutuações completas de pressão por segundo (numero de ciclos completos por segundo).



As frequências também podem ser divididas em:

- Frequências graves: 20 a 355 Hz
- Frequências médias: 355 a 1410 Hz
- Frequências altas: 1410 a 20000 Hz

Em termos de frequência, quando jovem e com audição normal, um humano ouve entre os 20 Hz e 10kHz. (1)

2.1.2.1. Tipos de som

Os tipos de som podem ser distinguidos de forma bastante simplista em sons puros e sons complexos.

Som Puro ou Simples – é aquele associado a uma componente única em termos de frequência (1)

Som complexo ou composto – resulta da sobreposição de dois ou mais sons puros. São os tipos de som mais correntes. (1)

2.1.2.2. Bandas de frequência

A análise das milhares de frequências seria muito trabalhosa, então é usual separarem-se os ruídos em agrupamentos de frequências denominadas de “bandas” de frequência correspondentes a intervalos de certa dimensão normalizada.

Uma banda de frequência é um agrupamento de frequências entre um limite inferior (f_1) e m limite superior (f_2). O valor médio (f_0) é denominado por frequência central. (1)

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2.8)$$

A largura de banda (B) é a diferença entre os seus valores numéricos dos limites superior e inferior.

As larguras de banda utilizadas para a acústica ambiental são unicamente as de 1/1 oitava ou de 1/3 de oitava. (1)

Os intervalos normalizados para oitava são:

16, 31, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 Hz

Os intervalos normalizados para terço de oitava são:

20, 25, 31, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000 Hz

2.1.2.3. Curvas de Ponderação

O ouvido humano não interpreta o som com total fidelidade para cada frequência, sendo que dá maior ou menos importância ao som conforme a frequência.

O ouvido humano é mais sensível para frequências na zona dos 2300 a 2800Hz e é muito pouco sensível para baixas frequências (menor que 125 Hz). Tal também depende da intensidade sonora do próprio som. Desta forma surgem as curvas de igualdade percepção subjetiva da intensidade sonora, numericamente escalonada e com a unidade denominada de fone, devidamente normalizada com a norma ISO 226

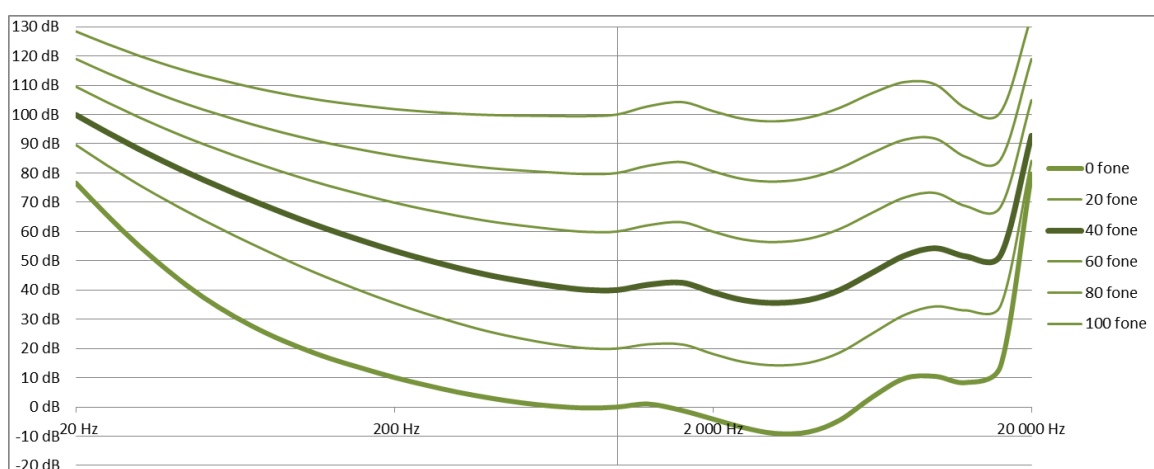


Figura 3 Curvas de igual sensibilidade auditiva (2)

Para que os equipamentos que medem os níveis possam ser calibrados a esta particularidade do ouvido humano, criaram-se filtros que efetuam as correções necessárias, essas correções seguem as chamadas curvas de ponderação, sendo a mais usada a curva de ponderação A, pois é a mais aproximada à audição

humana. As curvas B e C são mais aproximadas a ruídos intensos, e a D apenas para ruído de aviões.

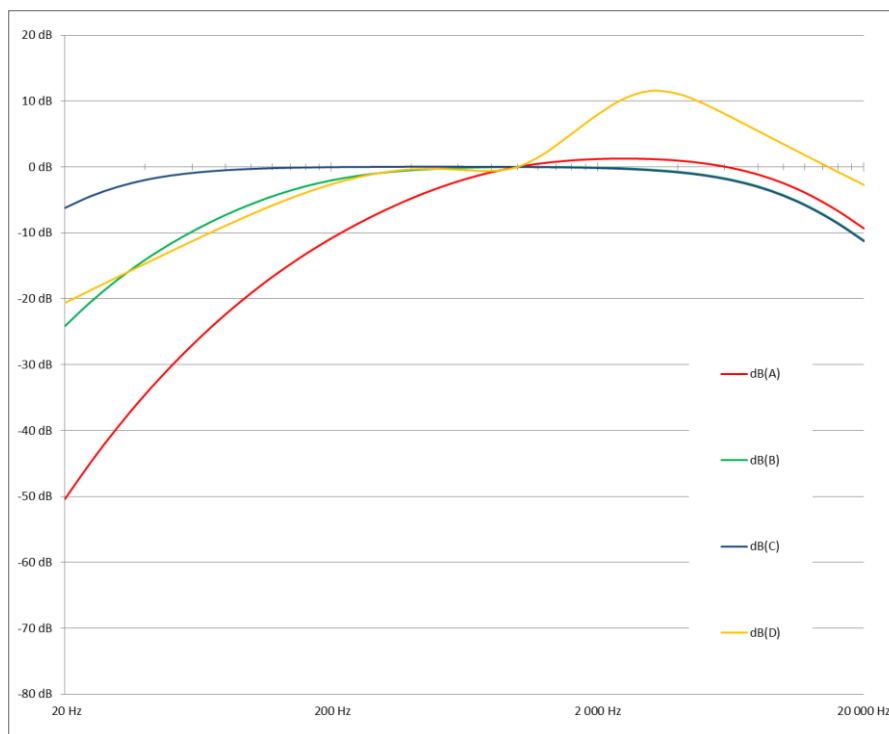


Figura 4 Descrição das curvas de ponderação, A, B, C e D (2)

2.1.2.4. Comprimento de onda

O comprimento de onda é uma característica teórica que define o “tamanho” desta. Corresponde à distancia entre dois pontos idênticos consecutivos da onda periódica.

Por definição:

$$\lambda = c.T = c/f \text{ (m)} \quad (2.9)$$

Em que:

λ – Comprimento de onda

c - Celeridade (m/s)

T – Período (s) = $1/f$ (frequência em Hz)

2.1.3. Análise no tempo

A duração do ruído tem também bastante importância na sua análise, pois este pode ser desde instantâneo a quase infinito, por exemplo um disparo ou uma queda de água, respetivamente.

A instabilidade temporal dos níveis de pressão sonora da generalidade dos ruídos obriga a que para descrever um fenómeno sonoro se recorram a descritores (ou parâmetros) com intervenção do fator tempo. (1)

Para a legislação nacional, o parâmetro descritor energético é o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{eq}), e corresponde a um nível que se atuasse constante num dado intervalo de tempo teria a mesma energia que o som que se pretende avaliar.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.10)$$

Existem mais parâmetros estatísticos para serem usados no domínio do tempo, como o L_{50} e L_{95} , ou seja, o nível que num dado intervalo de tempo é excedido em 50% ou 95% do tempo, respetivamente. No entanto, a legislação nacional não o utiliza para as avaliações necessárias.

2.2. Acústica de exteriores

A propagação do som ao ar livre é influenciada por diversos fatores. Num ponto recetor, o nível de pressão sonora é consequência do nível de potência sonora (emissor) e da atenuação que ocorre ao longo de todo o percurso.

$$L_p = L_w - A_{total} \quad (2.11)$$

Em que:

L_p – Nível de pressão sonora (no recetor);

L_w – Nível de potência sonora (do emissor);

A_{total} – Atenuação total (no percurso emissor-recetor) em dB

Os fatores de atenuação são o somatório dos efeitos a seguir indicados

2.2.1. Atenuação por divergência geométrica

O efeito mais importante de todos os que intervêm na propagação das ondas sonoras no exterior é a atenuação por divergência geométrica. Tal deve-se ao crescimento, com a distância à fonte, da superfície da onda sonora (esfera ou cilindro consoante se trate de fonte pontual ou linear). (1)

As fontes sonoras pontuais, podem ser consideradas como originárias de um único ponto do espaço (fábricas, cidades, aviões), enquanto as lineares ocorrem ao longo de um segmento de reta (tráfego, linhas de alta tensão).

Para fontes pontuais:

$$\begin{aligned} L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} &= 10 \log \frac{W}{4\pi r^2 10^{-12}} \text{ ou seja } |L_p| \approx |L_I| \\ &= L_w - 20 \log r - 11 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Para fontes lineares:

$$\begin{aligned} L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} &= 10 \log \frac{W'}{2\pi r^2 10^{-12}} \text{ ou seja } |L_p| \approx |L_I| \\ &= L_w - 10 \log r - 8 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Em que:

I – Intensidade sonora (W/m^2)

W – Potência sonora (W)

W' - Potência sonora linear (W/m)

r – Distância, emissor-recetor (m)

Simplificando as expressões, para situações em que as fontes sonoras estejam ao nível do solo, pois a propagação dá-se em metade da esfera ou do cilindro:

Fonte pontual -

$$L_p \approx L_i = L_w - 20 \log r - 8 \quad (2.14)$$

Fonte linear –

$$L_p \approx L_i = L_w - 20 \log r - 5 \quad (2.15)$$

Através das expressões acima e da figura abaixo, é possível verificar que com a duplicação da distância, existe um decréscimo do nível de pressão sonora de 3dB para fontes pontuais e 6 dB para fontes lineares.

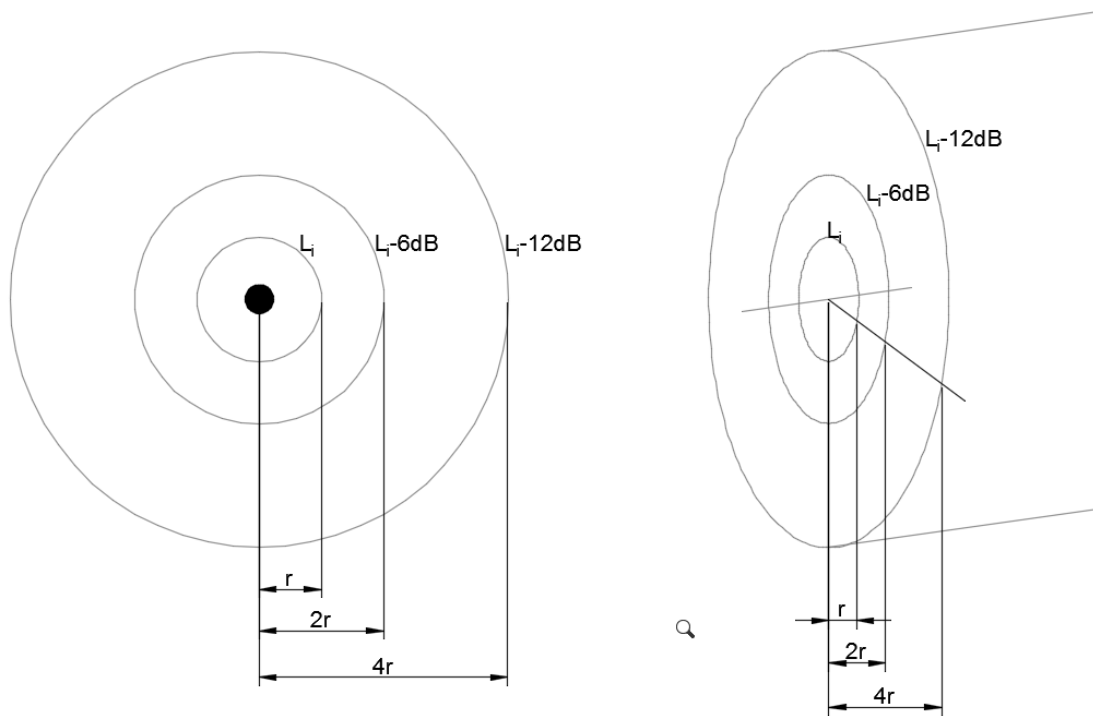


Figura 5 Diferenças básicas entre fonte sonora pontual (esq.) e fonte sonora Linear (dir.) (1)

2.2.2. Atenuação devida ao ar

A atenuação devida ao ar é função da frequência do som, da humidade relativa (HR) e da temperatura do ar.

A resultante da absorção atmosférica A_{atm} é dada pela seguinte formula em dB:

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{1000} \text{ dB} \quad (2.16)$$

Onde:

α – representa o coeficiente de atenuação atmosférica, em decíbel por km, para cada banda de oitava, na frequência central respectiva.

Tabela 2 Coeficientes de atenuação atmosférica α , dB/km

Temperatura	Humidade relativa	Frequencia central nominal, Hz							
°C	%	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117,0
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202,0
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129,0
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

2.2.3. Atenuação devida à absorção pelo solo

O efeito do solo na propagação sonora é afetada pela atenuação causada por este. De forma grosseria, pode considerar-se que um terreno “rígido” (asfalto, betão ou água líquida) faz aumentar em 3dB o nível de pressão sonora (para pequenas distâncias), para terrenos “macios” (relva, neve) a absorção é muito variável.

A contribuição pode ser calculada por meio de dois métodos, geral ou alternativo de cálculo.

O método geral de cálculo estabelece que a atenuação é acima de tudo o resultado da interferência entre o som refletido pela superfície do solo percorrido e o som que se propaga diretamente para o recetor.

O método é valido para terrenos mais ou menos planos ou com inclinação relativamente constante.

São especificadas três regiões distintas para a atenuação devida ao solo de acordo com a figura seguinte.

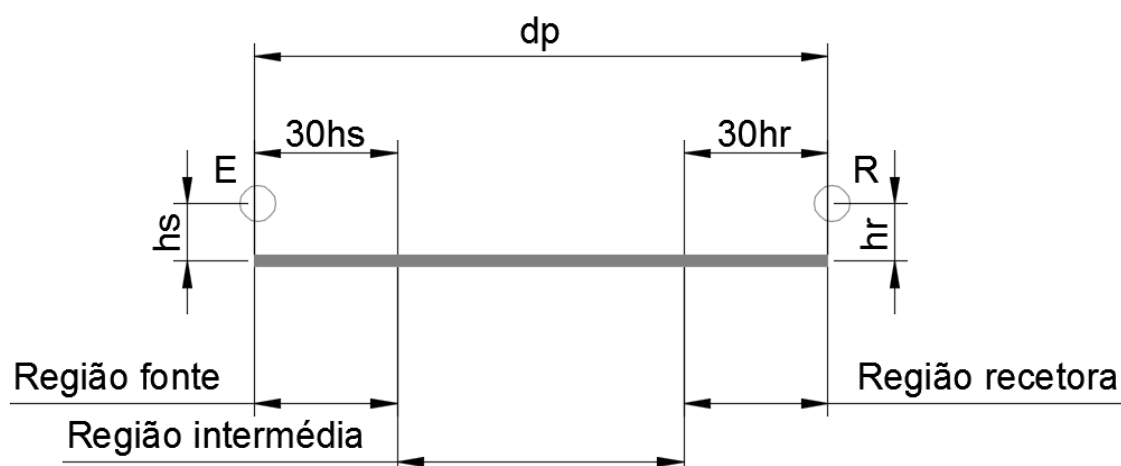


Figura 6 Esquema das regiões de separação entre a fonte emissora e o ponto recetor (1)

As características acústicas de cada região são caracterizadas pelo fator G , de acordo com a tabela 3:

Tabela 3 Relação entre G e as características do solo

Tipo de solo	Caraterísticas	G
Solo Duro	Inclui pavimentos, água, gelo, betão e qualquer superfície de solo possuindo uma baixa porosidade	$G=0$
Solo Poroso	Inclui solos cobertos de erva, de árvores ou outra vegetação, e qualquer outra superfície adequada ao crescimento de vegetação	$G=1$

Tabela 4 Relação entre G e as características do solo (continuação)

Tipo de solo	Caraterísticas	G
--------------	----------------	-----

Solo Misto	Se a superfície é constituída simultaneamente por solo poroso e solo duro	G toma um valor compreendido entre 0 e 1, correspondente à fração da região que é porosa
------------	---	--

A atenuação total do solo para cada banda de oitava é a soma dos componentes A_s , A_r , e A_m , que correspondem às regiões fonte, recetora e intermédia, respetivamente, correlacionados com o fator G do solo.

Tabela 5 Cálculo de parâmetros A_s , A_r , e A_m

Frequência central nominal	A _s ou A _r	A _m
Hz	dB	dB
63	-1,5	-3q
125	-1,5+G . a' (h)	-3q(1-G _m)
250	-1,5+G . b' (h)	
500	-1,5+G . c' (h)	
1000	-1,5+G . d' (h)	
2000	-1,5(1-G)	
4000		
8000		

Os valores a' , b' , c' d' e q são calculado através das seguintes expressões: (1)

$$a'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} d_p^2}) \quad (2.17)$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50}) \quad (2.18)$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/50}) \quad (2.19)$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50}) \quad (2.20)$$

$$q = 0 \text{ se } d_p \leq 30(h_s + h_r) \quad (2.21)$$

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \text{ se } d_p > 30(h_s + h_r) \quad (2.22)$$

O método alternativo para a atenuação sonora, pode ser calculado para qualquer tipo de superfície de solo, tendo em conta as seguintes condições:

- Apenas o nível de pressão sonora ponderado A, na posição do recetor tem interesse;

- A propagação do som ocorre sobre um solo poroso ou misto, cuja maior parte é porosa;
- O som não é um tom puro;

$$A_{gr} = 4,8 - \left(\frac{2h_m}{d}\right) \left[17 + \left(\frac{300}{d}\right)\right] \geq 0dB \quad (2.23)$$

Em que:

h_m – É a altura média, em metros, do trajeto de propagação acima do solo;

d – É a distância, em metros entre a fonte e o recetor.

2.2.4. Ação dos gradientes de temperatura e a velocidade do vento

A propagação do som no exterior pode ser afetada por duas variáveis meteorológicas importantes, os gradientes verticais de temperatura do ar e a velocidade do vento. Estas tratam-se de variações em pequena altitude da temperatura do ar e a velocidade do vento devidas unicamente a condições meteorológicas naturais. Quanto a temperatura aumenta em altura, o gradiente é positivo e a situação denomina-se “inversão de temperatura”, quando acontece o contrário, o gradiente é negativo. (1)

Um gradiente de temperatura negativo resultará numa redução do nível sonoro junto ao solo (criando zonas sombra). Um gradiente de temperatura positivo (inversão de temperaturas) provocará um aumento do nível sonoro junto ao solo.

Como a velocidade do vento tende a aumentar com a altitude, o vento a soprar da fonte sonora para o recetor encurvará as ondas para baixo, resultando em aumento do nível sonoro. Na situação contrária, criará um encurvamento para cima, conduzindo em redução do nível sonoro (e zonas de sombra).

Qualquer um destes efeitos só tem significado para distâncias superiores a 100 m e podem fazer variar os níveis de pressão sonora em -7 dB e +12dB

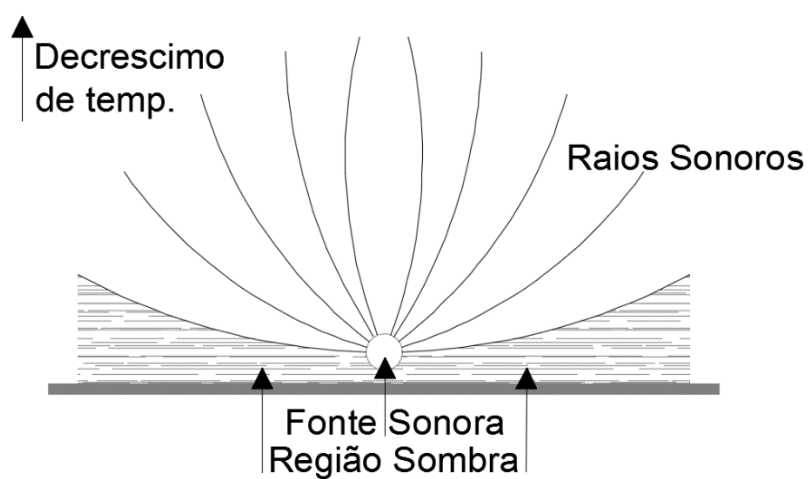


Figura 7 Efeito da variação da temperatura com a altura (decrécimo) (1)

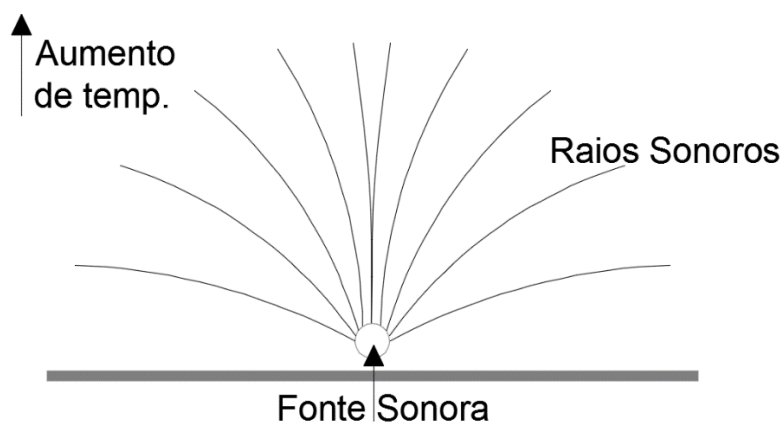


Figura 8 Efeito da variação da temperatura com a altura (aumento) (1)

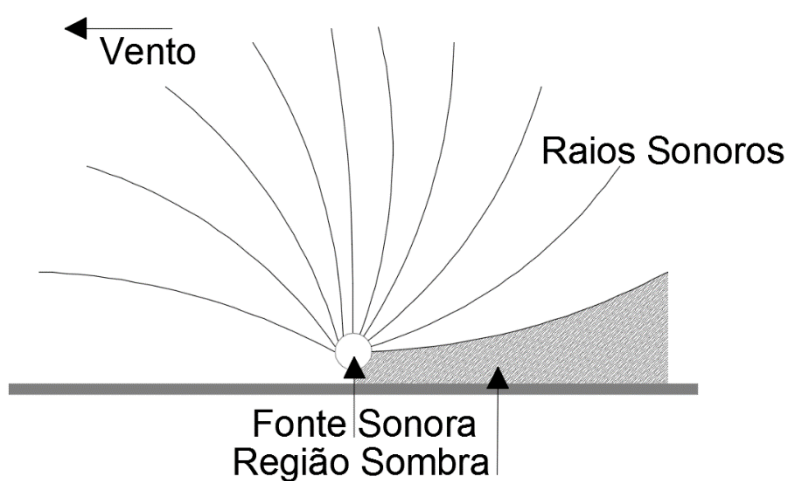


Figura 9 Efeito da variação do vento com a altura (1)

2.2.5. Atenuação devida à densa vegetação

A atenuação devido à densa vegetação é significativa a partir de espessura acima de 10m. No entanto, esta tem algum efeito psicológico devido à inserção de vegetação pois não ver a fonte sonora “pode ajudar” a esquecer o ruído. (1)

Para espessura de vegetação até 200 m, é possível prever essa atenuação através do seguinte quadro.

Tabela 6 Atenuação devida à vegetação em função da distância d, percorrida pelo som na vegetação densa (ISO/TR 17534-3:2015)

D (m)	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
10≤d<20	0	0	0	1	1	1	1	2	3	dB
20≤d≤200	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	dB/m

2.2.6. Atenuação devida a propagação em zona industrial

A quantificação do ruído por atravessamento em zona industrial edificada, pode ser quantificada pela seguinte tabela.

Tabela 7 Atenuação (A_{ind}) devida à propagação em zona industrial em função da distância percorrida pelo ruído nessa zona.

Frequência (Hz)	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A_{ind} (dB)	0	0	0,015	0,025	0,025	0,02	0,02	0,015	0,015

2.2.7. Atenuação devida a edifícios

A atenuação do ruído por atravessamento em zona edificada ($A_{edifício}$) pode ser quantificada através da ISO/TR 17534-3:2015, em que:

$$A_{edifício} = 0,1B \cdot d_b \quad (2.24)$$

Em que:

B – é a densidade de edifícios

$$B = \frac{\text{Área (planta) edifícios}}{\text{Área total terreno (incl. edifícios)}} \quad (2.25)$$

d_b – Comprimento (m) do caminho sonoro através da zona edificada.

Caso haja visão direta entre o emissor e o recetor, a atenuação deverá ser 0. O máximo esta nunca deve ser superior a 10dB.

Não se deve contabilizar simultaneamente A_{solo} e $A_{\text{edifícios}}$. Neste caso apenas deve ser utilizado o maior dos dois.

2.2.8. Ação do nevoeiro e chuva.

O efeito do nevoeiro e chuva é de previsão complexa, em geral nessas situações o som propaga-se a maiores distâncias e os gradientes de temperatura e de velocidade do vento são menores. (1)

2.3. Evolução da legislação

Ao longo dos últimos anos foi criado em Portugal um corpo legislativo na área de acústica ambiental e de edifícios, que de forma sucinta e cronologicamente foi a seguinte: (1)

Tabela 8 Evolução da legislação Nacional (3)

Decreto Legislativo Regional 22/83/A (Açores)	Ruídos na vizinhança de edifícios hospitalares e escolas;
Decreto-Lei 271/84 (6 de Agosto)	Atividades Ruidosas
Decreto-Lei 465/85 (5 de Novembro), revogado e substituído por Decreto-Lei 297/99 (4 de Agosto)	Alarmes sonoros em imóveis

Tabela 9 Evolução da legislação Nacional (3) (continuação)

Portaria 344/86 (5 de Julho); Portaria 555/90 (17 de Julho); Portaria 512/95 (29 de Maio); Decreto-Lei 546/99 (14 de Dezembro); Decreto-Lei 293/03 (19 de Dezembro); Portaria 831/07 (1 de Agosto)	Ruído de aeronaves
Lei 11/87 (7 de Abril)	Lei de Bases do Ambiente (artigos 21º e 22º)
Decreto-Lei 251/87 (24 de Junho); Decreto-Lei 292/89 (2 de Setembro); Decreto-Lei 292/00	Regulamento Geral sobre o ruído (RGR) [revogado em 2000] Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLPS) [revogado parcialmente em 1/2/07 e totalmente a 31/3/08] Regulamento Geral do Ruído (RGR) Decreto-Lei 9/2007 (17 de Janeiro)
Portaria 1069/89 (13 de Dezembro) Portaria 977/09 (1 de Setembro) Decreto-Lei 291/90 (20 de Setembro) Portaria 962/90 (9 de Outubro)	Controlo Metrológico de Sonómetros
Decreto-Lei 378/93 (5 de Novembro) Portaria 145/94 (12 de Março) Decreto-Lei 76/02 (26 de Março) Revogado e substituído por Decreto-Lei 221/06 (8 de Novembro)	Máquinas e Equipamentos [substituído por Decreto-Lei 221/06]

Tabela 10 Evolução da legislação Nacional (3) (continuação)

Decreto-Lei 72/92(28 de Abril) Diário da República (28 de Abril) Revogado e substituído por Decreto-Lei 182/06 (6 de Setembro)	Emissões sonoras para o ambiente de equipamento de utilização no exterior Proteção dos trabalhadores contra o ruído [revogado parcialmente para em 6/9/08] Exposição dos trabalhadores ao ruído
Despacho IIDD03 (9 de Agosto de 1994)	Estudos de impacte ambiente
Portaria 326/95 2ª série (4 de Outubro) Revogado e substituído por Portaria 393/04 (16 de Abril)	Ensaio acústicos (taxas, cobranças e cauções)
Decreto-Lei 129/02 (11 de Maio) Revogado e substituído por Decreto-Lei 96/08 (9 de Junho)	Reg. dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)
Decreto-Lei 146/06 (31 de Julho) Diário Regional 57/06 (31 de Agosto)	Diretiva do Ruído Ambiente (DRA)
Decreto-Lei 19/2009 (15 de Janeiro)	Níveis Sonoros em veículos a motor

Visar a prevenção de ruído e controlo da poluição sonora, salvaguardando a saúde humana constitui tarefa fundamental do estado, nos termos da Constituição da República Portuguesa e da Lei de Bases do Ambiente. Como é possível verificar na evolução história da legislação, esta matéria encontra-se enquadrada desde 1987 na Lei de Bases do Ambiente e Decreto-Lei 251/87 (24 de Junho), o primeiro Regulamento Geral sobre o Ruído. Após transposição de diretivas do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002, tornou-se premente proceder a ajustamentos no regime legal sobre poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei 292/2000 (14 de Novembro) de forma a compatibiliza-lo com as normas daí aprovadas e acima de tudo adotar indicadores de ruído ambiente harmonizados.

2.4. Enquadramento legal atual

2.4.1. Introdução

Conforme referido no ponto anterior a legislação em vigor em Portugal que legisla o ruído, corresponde ao Regulamento Geral de Ruído, Decreto-Lei 9/2007 (17 de Janeiro).

É objeto do Regulamento estabelecer um regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações.

O Regulamento aplica-se a atividades ruidosas permanentes e temporárias, e a outras fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade, como:

- Construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de edificações;
- Obras de construção civil;
- Laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;
- Equipamentos para utilização no exterior;
- Infraestruturas de transporte, veículos e tráfegos;
- Espetáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados; g) Sistemas sonoros de alarme.

O Regulamento é aplicável ao ruído de vizinhança, não prejudica o disposto em legislação relativa a ruído nos locais de trabalho, emissões sonoras de veículos, equipamentos de alarme.

De forma geral, a legislação define que as fontes de ruído suscetíveis de causar incomodidade podem ser submetidas:

- Ao regime de avaliação de impacto ambiental ou a um regime de parecer prévio, como formalidades essenciais dos respetivos procedimentos de licenciamento, autorização ou aprovação;

- A licença especial de ruído;
- A caução;
- A medidas cautelares.

2.4.2. Regulação da produção de ruído

2.4.2.1. Valores limites de exposição

As zonas podem ser definidas como mistas ou sensíveis, para cada um dos zonamentos existem os seguintes valores limites

2.4.2.1.1. Zonas mistas

Não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicado L_{den} e superior a 55 db(A), expresso pelo indicado L_n ;

2.4.2.1.2. Zonas sensíveis

Não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} e superior a 45 db(A), expresso pelo indicado L_n ;

As zonas sensíveis próximas de uma grande infraestrutura de transporte, à entrada em vigor do Regulamento Geral de Ruído, não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} e superior a 55 db(A), expresso pelo indicado L_n ;

As zonas sensíveis em que esteja projetada uma grande infraestrutura de transporte aéreo, à entrada em vigor do Regulamento Geral de Ruído, não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} e superior a 55 db(A), expresso pelo indicado L_n ;

As zonas sensíveis em que esteja projetada uma grande infraestrutura de transporte que não aéreo, à entrada em vigor do Regulamento Geral de Ruído, não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 60 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} e superior a 50 db(A), expresso pelo indicado L_n ;

2.4.2.1.3. Recetores isolados

Recetores sensíveis isolados, que não estejam integrados em zonas classificadas, por estarem localizados fora dos perímetros urbanos, são equiparados em função do seu uso e da sua proximidade a zonas sensíveis ou mistas.

2.4.2.1.4. Zonas não classificadas

Nos casos em que a zona não tenha sido classificada, estas não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 63 dB(A), expresso pelo indicador L_{den} e superior a 53 dB(A), expresso pelo indicador L_n ;

2.4.2.1.5. Métodos de verificação

A avaliação junto do recetor sensível, para efeitos de verificação de conformidade dos valores fixados no regulamento, deve ser efetuada por uma das seguintes formas:

- Realização de medições acústicas
- Consulta dos mapas de ruído, desde que a situação em verificação seja passível de caracterização através dos valores neles representados.

2.4.3. Atividades ruidosas permanentes e temporárias

2.4.3.1. Atividades ruidosas permanentes

As atividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes de zonas sensíveis e mistas ou na proximidade de recetores sensíveis isolados, estão sujeitos:

- Ao cumprimento dos valores limite descritos anteriormente
- Ao cumprimento do critério de incomodidade, considerado como a diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da atividade ou atividades em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual, diferença que não pode exceder 5

dB(A) no período diurno, 4 dB(A) no período do entardecer e 3 dB(A) no período noturno

As medidas, por ordem decrescente para fazer cumprir os pontos anteriores são:

- Medidas de redução na fonte de ruído;
- Medidas de redução no meio de propagação de ruído;
- Medidas de redução no recetor sensível.

Dependendo quem seja o titular da autorização/licença mais recente, adotar as medidas referidas, seja o titular o responsável pela atividade ou o recetor sensível.

2.4.3.2. Atividades ruidosas temporárias

Atividades ruidosas temporárias não podem ser executadas na proximidade de:

- Edifícios de habitação, aos sábados, domingos e feriados e nos dias úteis entre as 20 e as 8 horas;
- Escolas, durante o respetivo horário de funcionamento;
- Hospitais ou estabelecimentos similares.

2.4.3.2.1. Licença especial de ruído temporária

Atividades ruidosas temporárias podem ser autorizadas, em casos excepcionais e devidamente justificados, mediante licença especial de ruído temporária, emitida pelo município, que deve ficar as condições de exercício das atividades:

2.4.4. Fiscalização

A fiscalização do cumprimento das normas previstas no Regulamento compete

- À Inspeção-geral do Ambiente e do Ordenamento do Território;
- À entidade responsável pelo licenciamento ou autorização da atividade;

- Às comissões de coordenação e desenvolvimento regional, às câmaras municipais e polícia municipal, no âmbito das respetivas atribuições e competências;
- Às autoridades policiais e polícia municipal relativamente a atividades ruidosas temporárias, no âmbito das respetivas atribuições e competências;
- Às autoridades policiais relativamente a veículos rodoviários a motor, sistemas sonoros de alarme e ruído de vizinhança.

2.4.4.1. Acreditação

Os ensaios e medições acústicas necessárias à verificação do cumprimento do disposto no Regulamento Geral de Ruído são realizados por entidades acreditadas no âmbito do Sistema Português de Qualidade. Caso a entidade seja acreditada noutro Estado membro e pretenda desenvolver medições, também deve notificar a entidade portuguesa com competência de acreditação.

2.5. Normalização

O principal objetivo da normalização, é estabelecer procedimentos de natureza específica, os quais, aceites pelos países aderentes, facilitam a troca de bens e serviços com base na eliminação de barreiras técnicas que inviabilizem a livre circulação comercial. (3)

A adoção das normas é voluntária, no entanto muitas delas encontram-se relacionadas com Diretivas europeias, e presume-se que estas sejam observadas para que sejam cumpridos os requisitos legais impostos pelas legislações europeias.

Em Portugal, a entidade internacional responsável pela proposição, planeamento e adoção das normas europeias, que após entrada em vigor são de aplicação obrigatória em Portugal, é a CEN (European Committee for Standardization), entidade responsável por todos os sectores económicos, excepto o electrotécnico. O CEN, é uma associação legal cujos membros são ONN's, Organismos Nacionais de Normalização, sendo Portugal um dos membros fundadores. Em Portugal o

ONN é o IPQ (Instituto Português da Qualidade), do qual dependem vários ONS's, Organismos de Normalização Sectorial. Especificamente na área da acústica, o ONS responsável é a Comissão Técnica 28, CT-28, esta é dividida em várias subcomissões, respetivamente: (3)

- SC1: Acústica física e electro e psicoacústica;
- SC2: Acústica de edifícios;
- SC3: Acústica ambiental;
- SC4: Vibrações e choques.

2.5.1. Normas em vigor

Seguidamente referem-se as normas mais importantes a utilizar nas medições dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente e critério de incomodidade, assim como uma descrição sumária ao seu respetivo campo de aplicação.

NP ISO 1996-1 2011 – Acústica, Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente, Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação. Esta parte da norma define as grandezas fundamentais a utilizar na descrição do ruído ambiente na comunidade, e descreve os procedimentos gerais da sua avaliação. Especifica métodos de avaliação do ruído ambiente e fornece indicação de como prever a potencial resposta à incomodidade de uma comunidade, resultante da exposição a longo prazo a diversos tipos de ruído ambiente.

NP ISO 1996-2 2011 – Acústica, Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente, Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente. Esta parte da norma descreve como poder ser obtidos os níveis de pressão sonora como base para as avaliações do ruído ambiente. Os resultados, podem ser obtidos a partir de medições, extrapolação de resultados de medições ou apenas por meio de cálculos. A sua metodologia é tomada como sendo preferencial caso não existam métodos regulamentares definidos.

Capítulo 3 – Procedimento de medição

3.1. Termos, definições e simbologia

As definições que se seguem são retiradas e adaptadas das normas referidas anteriormente:

3.1.1. Atividades

3.1.1.1. Atividade ruidosa permanente

Atividade desenvolvida com carácter permanente, ainda que sazonal, que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído, designadamente laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;

3.1.1.2. Atividade ruidosa temporária

Atividade que, não constituindo um ato isolado, tenha carácter não permanente e que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se fazem sentir os efeitos dessa fonte de ruído tais como obras de construção civil, competições desportivas, espetáculos, festas ou outros divertimentos, feiras e mercados;

3.1.2. Expressão de níveis

Para os níveis referidos abaixo, deve ser especificada a ponderação em frequência, ou banda de frequências e se aplicável a ponderação no tempo.

3.1.2.1. Nível de pressão sonora ponderado no tempo e ponderação em frequência

Dez vezes o logaritmo na base 10 do quadrado da razão entre uma dada pressão sonora eficaz e a pressão sonora de referência, obtida com uma ponderação normalizada no tempo e em frequência.

Nota 1: A pressão sonora de referência é de 20µPa.

Nota 2: A pressão sonora é expressa em Pascal (Pa)

Nota 3: Na IEC 61672-1 as ponderações normalizadas, em frequência e no tempo, são as ponderações em frequência A, e C, e as ponderações no tempo F e S

Nota 4: O nível de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado em frequência é expresso em decibel (dB)

3.1.2.2. Nível máximo de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado em frequência

Valor máximo do nível de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado em frequência, num dado intervalo de tempo.

Nota: O nível máximo de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado em frequência é expresso em decibel (dB).

3.1.2.3. Nível excedido em N % do tempo

Nível de pressão sonora ponderado no tempo e ponderado em frequência que é excedido em N % do intervalo de tempo considerado.

Exemplo: $L_{AF95,1h}$ é o nível de pressão sonora ponderada, obtido com a malha de ponderação em frequência A, e ponderação no tempo F, que é excedido durante 95 % de 1 hora.

3.1.2.4. Nível de pressão sonora de pico

Dez vezes o logaritmo na base 10 da razão entre o quadrado da pressão sonora de pico e o quadrado da pressão sonora de referência, em que a pressão sonora de pico é o valor máximo absoluto da pressão sonora instantânea num dado intervalo de tempo, determinada com uma ponderação em frequência normalizada ou numa determinada banda de frequências.

Nota 1: O nível de pressão sonora de pico é expresso em decibel (dB).

Nota 2: A pressão sonora de pico deverá ser determinada com um detetor conforme definido na IEC 61672. A IEC 61672 só especifica as características do detetor de pico com a malha de ponderação C.

3.1.2.5. Nível de exposição sonora

Dez vezes o logaritmo na base 10 da razão entre a exposição sonora, E , e a exposição sonora de referência, E_0 , sendo a exposição sonora o integral no tempo da evolução do quadrado da pressão sonora instantânea ponderada em frequência, durante um intervalo de tempo, T , ou um acontecimento acústico.

Nota 1: E_0 é igual ao quadrado da pressão sonora de referência de 20 μPa multiplicado pelo intervalo de tempo de 1 s [$400 (\mu\text{Pa})^2 \text{s}$].

$$L_E = 10 \log \left(\frac{E}{E_0} \right) \text{dB} \quad (3.1)$$

Onde:

$$E = \int_T p^2(t) dt \text{ dB} \quad (3.2)$$

Nota 2: O nível de exposição sonora é expresso em decibel (dB).

Nota 3: A exposição sonora é expressa em pascal quadrado segundo (Pa^2s).

Nota 4: A duração da integração, T , é implicitamente incluída no integral no tempo, pelo que não necessita de ser explicitada. Para medições da exposição sonora num dado intervalo de tempo, a duração da integração deverá ser indicada e a notação a utilizar deverá ser L_{ET} .

Nota 5: Para níveis de exposição sonora de um acontecimento discreto, deverá ser descrita a natureza desse acontecimento.

3.1.2.6. Nível sonoro contínuo equivalente

Dez vezes o logaritmo da base 10 da razão entre o quadrado da pressão sonora eficaz num determinado intervalo de tempo e o quadrado da pressão sonora de

referência, sendo a pressão sonora obtida com uma ponderação normalizada, em frequência.

Nota 1: O nível sonoro contínuo equivalente ponderado A é:

$$L_{AeqT} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] dB \quad (3.3)$$

onde:

$p_A(t)$ é a pressão sonora instantânea ponderada A no instante t ;

p_0 é a pressão sonora de referência (= 20 μ Pa).

Nota 2: O nível sonoro contínuo equivalente é expresso em decibel (dB).

Nota 3: O nível sonoro contínuo equivalente pode também ser designado por “nível de pressão sonora médio no tempo”.

3.1.3. Intervalos de tempo

3.1.3.1. Intervalo de tempo de referência

Intervalo de tempo ao qual se refere a avaliação do som

Nota 1: o intervalo de tempo de referência varia e pode ser especificado na legislação nacional.

Nota 2: Para diferentes intervalos de tempo de referência, poderão ser especificados diferentes níveis sonoros ou diferentes conjuntos de níveis sonoros.

3.1.3.2. Intervalo de tempo de longa duração

Intervalo de tempo especificado no qual o som associado a uma série de intervalos de tempo de referência é determinado ou avaliado.

Nota 1: O intervalo de tempo de longa duração é estabelecido com a finalidade de descrever o ruído ambiente, sendo geralmente definido pelas autoridades responsáveis.

Nota 2: Para avaliações de longa-duração e planeamento de uso do solo, deverão ser utilizados intervalos de tempo de longa-duração que representem uma fração significativa do período de um ano.

3.1.4. Avaliações

3.1.4.1. Avaliação acústica

Verificação da conformidade de situações específicas de ruído com os limites fixados;

3.1.4.2. Correção

Qualquer valor, positivo ou negativo, constante ou variável, que é adicionado a um nível sonoro, calculado ou medido, de modo a ter em conta as características do som, o período do dia, ou o tipo de fonte.

3.1.4.3. Nível de avaliação

Qualquer nível sonoro, calculado ou medido, ao qual tenha sido adicionada uma correção.

Nota 1: São exemplos de níveis de avaliação os resultados de medições de níveis de pressão sonora do tipo dia-noite ou do tipo dia-entardecer-noite, uma vez que são determinados a partir de medições ou de cálculos efetuados sobre diferentes períodos de referência, e aos quais são adicionadas correções baseadas no respetivo período do dia.

Nota 2: Poderá ser obtido um nível de avaliação pela adição de correções aos níveis medidos ou previstos, de modo a ter em conta certas características particulares do som, tais como a existência de componentes tonais ou impulsivas.

Nota 3: Poderá ser obtido um nível de avaliação pela adição de correções aos níveis medidos ou previstos, de modo a ter em conta diferenças entre diversos tipos de fontes sonoras. Por exemplo, utilizando tráfego rodoviário como fonte sonora base, poderão ser aplicadas correções aos níveis sonoros relativos a fontes ferroviárias ou de aeronaves.

3.1.5. Designação do som

No âmbito do Decreto-Lei nº9/2007, as nomenclaturas usadas têm a seguinte equivalência:

- Ruído ambiente – Som total;
- Ruído particular – Som específico;
- Ruído residual – Som residual.

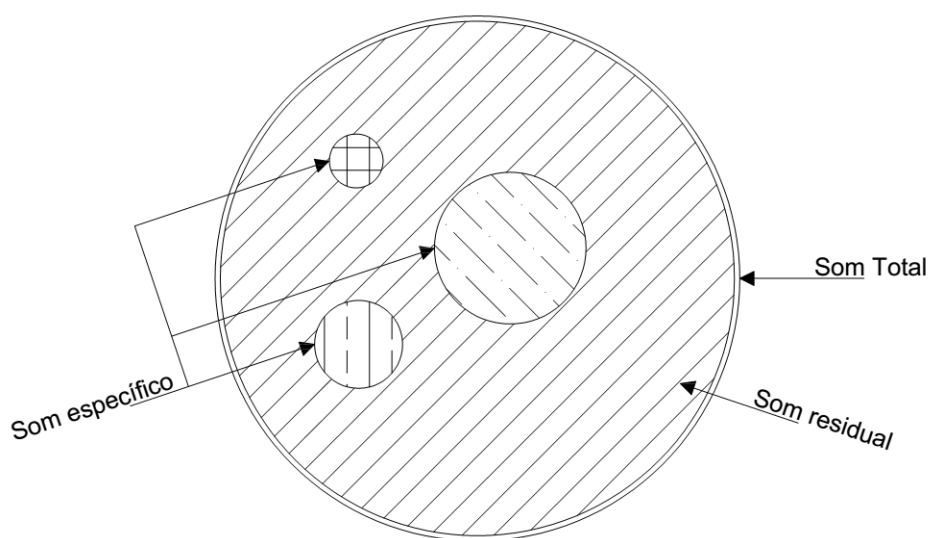


Figura 10 Representação dos tipos de som (4)

3.1.5.1. Som total

Som global existente numa dada situação e num dado instante, usualmente composto pelo som resultante de várias fontes, próximas e distantes.

3.1.5.2. Som específico

Componente do som total que pode ser especificamente identificada e que está associada a uma determinada fonte

3.1.5.3. Som residual

Som remanescente numa dada posição e numa dada situação quando são suprimido(s) o(s) son(s) específico(s) em consideração.

3.1.5.4. Som inicial

Som total existente numa situação inicial antes da ocorrência de qualquer modificação.

3.1.5.5. Som flutuante

Som contínuo cujo nível de pressão sonora, durante o período de observação, varia significativamente mas que não pode ser considerado um som impulsivo.

3.1.5.6. Som intermitente

Sons observáveis apenas durante certos períodos de tempo, em intervalos regulares ou irregulares, em que a duração de cada uma das ocorrências é superior a 5s.

Exemplo: Ruído de veículos motorizados em condições de baixo volume de tráfego, ruído de comboios, ruído de aeronaves, e ruído de compressores de ar.

3.1.5.7. Emergência sonora

Incremento do som total existente numa dada situação resultante da ocorrência de um som específico.

3.1.5.8. Som impulsivo

Som caracterizado por curtos impulsos de pressão sonora.

Nota 1: A duração de um impulso de pressão sonora é, normalmente, inferior a 1s.

3.1.5.9. Som tonal

Som caracterizado por uma única componente de frequência ou por componentes de banda estreita que emergem de modo audível do som total.

3.1.5.10. Som de baixa frequência

Som que contém frequências de interesse, em termos de bandas de um terço de oitava, no intervalo 16Hz a 200Hz.

3.1.5.11. Ruído de Vizinhança

Ruído associado ao uso habitacional e às atividades que lhe são inerentes, produzido diretamente por alguém ou por intermédio de outrem, por coisa à sua guarda ou animal colocado sob a sua responsabilidade, que, pela sua duração, repetição ou intensidade, seja suscetível de afetar a saúde pública ou a tranquilidade da vizinhança;

3.1.6. Fonte de Ruído

Ação, atividade permanente ou temporária, equipamento, estrutura ou infraestrutura que produza ruído nocivo ou incomodativo para quem habite ou permaneça em locais onde se faça sentir o seu efeito;

3.1.6.1. Fontes sonoras impulsivas

Atualmente não existe nenhum descritor matemático que possa definir inequivocamente a presença de som impulsivo ou que possa separar os sons impulsivos nas categorias apresentadas abaixo, no entanto estas são as que melhor se correlacionam com as reações da população.

3.1.6.2. Fonte sonora impulsiva de alta-energia

Qualquer fonte explosiva cuja massa equivalente de TNT exceda 50g, ou fontes com características e grau de perturbação comparáveis.

Nota: Fontes do tipo estampido sónico, explosões em pedreiras e minas, demolições ou processo industriais que utilizem explosivos de carga elevada, disjuntores explosivos, foguetes, aeronaves, projéteis militares e outras fontes similares. Esta categoria não inclui fontes do tipo estampido sónico, de curta duração gerados por pequenas armas de fogo e outras fontes similares.

3.1.6.3. Fonte sonora de elevada impulsividade

Qualquer fonte com características de elevada impulsividade e elevado grau de perturbação.

Nota: Pequenas armas de fogo martelar em metal ou em madeira, pistolas de pregos, martelos de moldagem, bate-estacas, operações de forja com martinete de queda, presas de perfurar, martelos pneumáticos, roturas de pavimentos, ou impactos metálicos em operações ferroviárias.

3.1.6.4. Fonte sonora impulsiva regular

Fonte sonora impulsiva que não é uma fonte sonora de alta-energia nem uma fonte sonora de elevada impulsividade.

Nota: Esta categoria inclui as fontes sonoras que emitem sons que por vezes são descritos como impulsivos, mas que normalmente não são considerados tão perturbadores como os sons emitidos pelas fontes sonoras de elevada impulsividade. Por exemplo o bater da porta de um carro, jogos de bola no exterior como o futebol, ou o basquetebol, e sinos de igreja. Também poderão ser incluídas nesta categoria as passagens muito rápidas de aeronaves militares a baixa altitude.

3.1.7. Métodos

3.1.7.1. Método de cálculo

Conjunto de algoritmos para calcular o nível de pressão sonora em locais arbitrários a partir de dados de emissão sonora, medidos ou previstos, e de dados de atenuação sonora.

3.1.7.2. Método de previsão

Parte de um método de cálculo elaborado para a determinação de níveis de ruídos previstos.

3.1.8. Intervalos

3.1.8.1. Intervalo de tempo de medição

Intervalo de tempo durante o qual é efetuada uma única medição.

3.1.8.2. Intervalo de tempo de observação

Intervalo de tempo durante o qual é efetuada uma série de medições.

3.1.8.3. Janela meteorológica

Conjunto de condições meteorológicas durante o qual podem ser efetuadas medições, cujos resultados têm variações limitadas e conhecida em função da variação das condições meteorológicas.

Aceita-se o princípio da extrapolação para um ano, do resultado obtido para o nível sonoro médio de longa duração, mediante a aplicação de métodos de cálculo estabelecidos pelo documento “IMA32TR-040510-SP08. Determination of L_{den} and L_{night} using measurements.” (5)

3.1.8.3.1. Raio de curvatura dos trajetos de propagação sonora, R

Raio aproximado da curvatura dos trajetos de propagação sonora devida à refração atmosférica.

3.1.9. Indicadores de ruído

Parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano;

3.1.9.1. Indicador de ruído diurno (L_d) ou (L_{day})

Nível sonoro médio de longa duração, determinado durante uma série de períodos diurnos representativos de um ano.

3.1.9.2. Indicador de ruído do entardecer (L_e) ou ($L_{evening}$)

Nível sonoro médio de longa duração determinado durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano.

3.1.9.3. Indicador de ruído noturno (L_n) ou (L_{night})

Nível sonoro médio de longa duração determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

3.1.9.4. Indicador de ruído diurno-entardecer-noturno (L_{den})

Indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incomodo global dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right] \quad (3.4)$$

3.1.10. Recetores

3.1.10.1. Recetor sensível

Edifício habitacional, escolar, hospitalar ou similar ou espaço de lazer, com utilização humana.

3.1.10.2. Local Recetor

Local onde o ruído é avaliado.

3.1.11. Infraestruturas

3.1.11.1. Grande infraestrutura de transporte aéreo

Aeroporto civil identificado como tal pelo Instituto Nacional de Aviação Civil cujo tráfego seja superior a 50 000 movimentos por ano de aviões civis subsónicos de propulsão por reação, tendo em conta a média dos três últimos anos que tenham precedido a aplicação das disposições deste diploma ao aeroporto em questão, considerando-se um movimento uma aterragem ou uma descolagem.

3.1.11.2. Infraestrutura de transporte ferroviário

Troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional identificada como tal pelo Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, onde se verifique mais de 30 000 passagens de comboios por ano.

3.1.11.3. Grande infraestrutura de transporte ferroviário

Troço ou conjunto de troços de uma via-férrea regional, nacional ou internacional identificada como tal pelo Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, onde se verifique mais de 30 000 passagens de comboios por ano.

3.1.11.4. Grande infraestrutura de transporte rodoviário

Troço ou conjunto de troços de uma estrada municipal, regional, nacional ou internacional identificada como tal pela Estradas de Portugal, E. P. E., onde se verifique mais de três milhões de passagens de veículos por ano;

3.1.11.5. Infraestrutura de transporte

Instalação e meios destinados ao funcionamento de transporte aéreo, ferroviário ou rodoviário;

3.1.12. Zonas

3.1.12.1. Zonas sensíveis

Área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno.

3.1.12.2. Zonas mistas

Área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zonas sensíveis.

3.1.12.3. Zonas urbana consolidada

Zona sensível ou mista com ocupação estável em termos de edificação

3.1.13. Mapa de ruído

Descritor do ruído ambiente exterior, expresso pelos indicadores L_{den} e L_n , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A);

3.1.14. Períodos de referência

Períodos de referência para cada um dos indicadores de ruído (L_d , L_e , L_n) de acordo com a legislação nacional.

Tabela 11 Períodos de referência

Período diurno	Período do entardecer	Período noturno
Das 7 às 20 horas	Das 20 às 23 Horas	Das 23 às 7 horas

3.1.15. Simbologia

Tabela 12 Símbolos para nível de pressão e nível de exposição sonora

Grandeza	Símbolo
Nível de pressão sonora, ponderado A	L_{pAF}
Nível máximo de pressão sonora, ponderado A	L_{AFmax}
Nível percentil, ponderado A	L_{AFNT}

Tabela 13 Símbolos para nível de pressão e nível de exposição sonora (cont.)

Nível de pressão sonora de pico, ponderado C	L_{Cpeak}
Nível de exposição sonora, ponderado A	L_{AE}
Nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A	L_{AeT}
Nível de avaliação de exposição sonora	L_{RE}
Nível de avaliação contínuo equivalente	L_{ReqT}

3.2. Procedimento de ensaio

3.2.1. Determinação do nível sonoro médio de longa duração

3.2.1.1. Generalidades

O seguinte procedimento segue a legislação e normas em vigor e “Guia APA 22 - Guia prático para medições de ruído ambiente no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996” (6)

De acordo com o Decreto-Lei 9/2007, a medição do ruído ambiente deve ser representativo de um ano, desta forma essa condição poderá ser satisfeita, mediante a adoção do seguinte procedimento:

3.2.1.1.1. Janelas de emissão (variações da emissão sonora)

O ensaio basear-se-á na recolha de pelo menos duas amostras de ruído ambiente em dias distintos (sem prejuízo de recolha de ruído residual, em casos aplicáveis), em cada um dos períodos de referência.

Se o resultado obtido na 2ª amostra for superior em 5 dB(A) ou mais, relativamente ao valor da 1ª amostra, será recolhida uma ou mais amostras adicionais.

Em situações de marcada sazonalidade (por exemplo, entre um dia útil e um dia de fim de semana, ou entre um mês de Verão e um mês de Inverno), será necessário que as amostras caracterizem todos estes regimes de emissão sonora.

Como exceção, nos casos em que, na 1ª amostra, o nível sonoro resultante das fontes sonoras em presença no local de avaliação for igual ou inferior a 10 dB(A) ao limite regulamentar aplicável, pode ser dispensável a recolha de amostras adicionais desde que a situação não seja de marcada sazonalidade.

3.2.1.1.2. Janelas meteorológicas (variações meteorológicas)

Aceita-se o princípio de extrapolação para um ano, caso as recolhas de amostras atendam em simultâneo às janelas de emissão e de meteorologia. De acordo com o método de cálculo citado exclui-se a recolha de amostras noutras condições que não as de uma janela meteorológica “favorável” à propagação.

Em alternativa, poderão recolher-se amostras ao longo de um ano, segundo plano de amostragem estabelecido por Norma Internacional ou documento técnico credível.

O local de medição das condições meteorológicas deve ser escolhido durante os ensaios, não sendo necessariamente no local de medição. Deve ser tomado em conta um local onde a velocidade do vento seja representativa da zona envolvente e não apenas do ponto de medição.

Para facilitar a comparação dos resultados, é conveniente realizar medições em condições meteorológicas selecionadas, de modo a que os resultados sejam reproduzíveis. Esta situação verifica-se em condições bastante estáveis de propagação sonora.

Estas condições verificam-se quando a propagação sonora é refratada de forma descendente, como por exemplo, vento favorável (da fonte para o recetor), obtendo-se níveis de pressão sonora elevados e com variação moderada. Como orientação, a condição que devemos tentar obter $R < 10$ km, verifica-se quando:

- O vento sopra da fonte sonora dominante para o recetor (período diurno com um ângulo de $\pm 60^\circ$, no período noturno com um ângulo de $\pm 90^\circ$).
- A velocidade do vento, medida a uma altura de 3,0 m a 11, 0 m acima do solo, está entre 2 m/s e 5 m/s durante o período diurno ou superior a 0,5 m/s no período noturno.
- Não ocorre um forte gradiente de temperatura negativo junto ao solo, por exemplo, por não se verificar uma forte insolação em período diurno.

3.2.1.1.2.1. Condições de propagação

A caracterização da influência da direção do vento na propagação das ondas sonoras é determinada de acordo com a seguinte figura (adaptada da “Guide méthodologique - Prévission du bruit routier - Tome 2 - Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (NMPB 2008)”: (7)

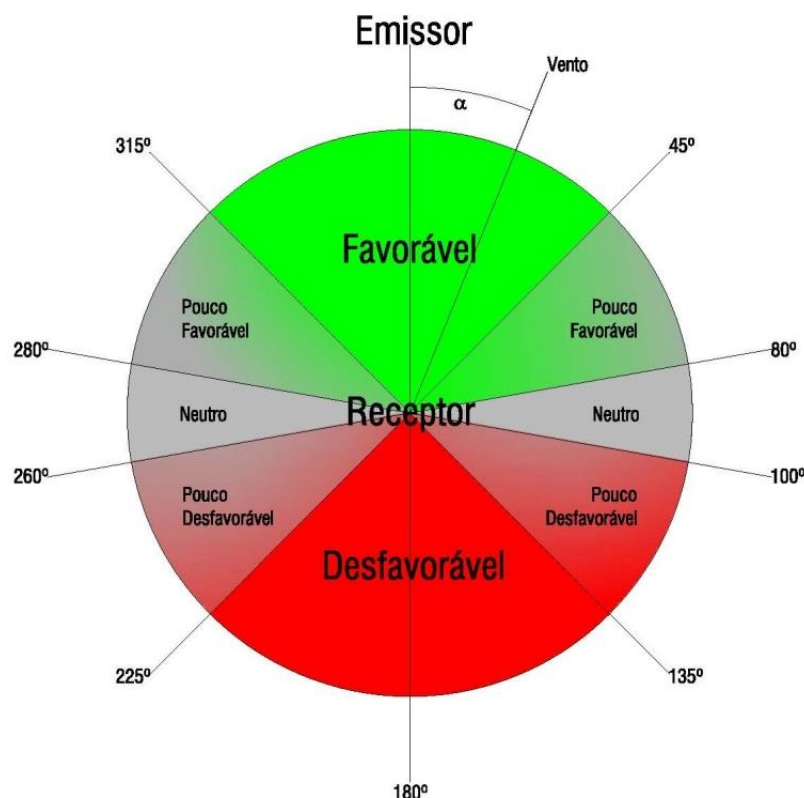


Figura 11 Condições de propagação do vento

Como se pode observar, existem várias situações possíveis de ocorrer:

- Direção do vento favorável à propagação;
- Direção do vento desfavorável à propagação;
- Direção do vento pouco favorável à propagação;
- Direção do vento pouco desfavorável à propagação;
- Influência neutra.

No que se refere a influência da temperatura, fortemente dependente do nível de radiação solar, os dados sinópticos a seguir apresentados, encontram-se relacionados com a existência ou não de nebulosidade.

A influência da conjugação dos dados sinópticos sobre o vento e sobre a temperatura resulta na seguinte grelha:

Tabela 14 Dados climatéricos

	U1	U2	U3	U4	U5	
T1		--	-	-		-- Atenuação muito forte ligada a gradientes de som fortemente negativos (Situação desfavorável)
T2	--	-	-	Z	+	- Atenuação suficientemente forte correspondente a gradientes de som negativos (Situação desfavorável)
T3	-	-	Z	+	+	Z Efeitos meteorológicos nulos relativos a um gradiente de som nulo (Situação homogénea)
T4	-	Z	+	+	++	+
T5		+	+	++		++ Aumento suficientemente forte do nível sonoro ligado a gradientes de som fortemente positivos (Situação favorável)

Nota: as situações a sombreado correspondem a casos meteorológicos impossíveis: não se pode ter simultaneamente um forte gradiente de vento e de temperatura.

Tabela 15 Dados sinópticos das condições climatéricas

Dados sinópticos sobre o vento		Dados sinópticos sobre a temperatura	
U1	Vento forte (de 3 a 5 m/s) desfavorável à propagação.	T1	Dia e forte radiação e superfície seca e vento fraco ou nulo.
U2	Vento fraco (de 1 a 3 m/s) desfavorável à propagação ou vento forte pouco desfavorável à propagação.	T2	Dia e (radiação média ou superfície húmida ou vento forte) se todas as condições precedidas por “ou” forem reunidas, passar para T3.
U3	Vento nulo (< 1 m/s) ou vento de qualquer velocidade com orientação de flanco.	T3	Período horário do nascer do sol ou por do sol ou (tempo coberto e vento fraco e superfície não seca).
U4	Vento fraco favorável à propagação ou vento forte pouco favorável à propagação.	T4	Noite e (nublado ou vento fraco).
U5	Vento forte favorável à propagação.	T5	Noite e céu limpo e vento fraco ou nulo.

3.2.1.2. Estudo prévio

Antes do ensaio de campo, é efetuado um estudo prévio do local em análise de forma a identificar:

- As condições sonoras da envolvente;
- As condições meteorológicas predominantes;
- O tipo de recetor previsto;
- Os pontos de amostragem.

As condições de funcionamento da fonte devem ser estatisticamente representativas do ruído ambiente em consideração. Para a obtenção de uma estimativa fiável do nível sonoro contínuo equivalente e do nível máximo de pressão sonora, o intervalo de tempo de medição deve englobar um número mínimo de acontecimentos acústicos.

No que se refere as condições meteorológicas, através de uma consulta prévia a páginas de internet focadas em meteorologia, e numa primeira abordagem, pode-se retirar uma caracterização climática (perfis de vento, $T_{\text{máx}}$, T_{min} , precipitação e insolação) do local em estudo. Esta consulta não dispensa a necessidade de recolha dos dados climáticos “in situ” a quando da realização do ensaio.

A conjugação destes elementos vai permitir ao(s) técnico(s) planear o ensaio por forma a que a amostragem seja representativa da situação a caracterizar.

3.2.1.3. Posições do microfone

A escolha da posição do microfone deve ser uma das seguintes, sendo que será necessário aplicar as correções aos valores, caso existam:

3.2.1.3.1. Medições em campo livre

A medição deve ser efetuada num campo livre, ou seja, não existem superfícies refletoras à exceção do solo que influencie o nível sonoro. A distância do microfone a qualquer superfície refletora, à exceção do solo, deve ser no mínimo o dobro da distância entre o microfone e a parte dominante da fonte de ruído. É aconselhado no mínimo manter uma distância de 3,5 m a qualquer superfície refletora exceto o solo.

3.2.1.3.2. Microfone sobre superfície refletora

A correção base a aplicar será de 6 dB. A fachada deve ser plana em $\pm 0,05\text{m}$ numa distância até 1m do microfone, e as distâncias até aos limites da fachada devem ser superiores a 1,0 m. O microfone pode ser montado sobre uma placa de material não absorvente com espessura inferior a 25mm, e as suas dimensões não devem ser inferiores a 0,5m x 0,7m, a distância do microfone aos limites da placa não devem ser inferiores a 0,10m.

3.2.1.3.3. Microfone perto da superfície refletora

Microfone perto da superfície refletora: Em certas condições, o som refletido e direto tem o mesmo nível sonoro, provocando aumento no nível de pressão sonora

em 3dB. A fachada deve ser plana a menos de $\pm 0,3$ m, e o microfone não deve ser colocado em posições em que o campo sonoro seja influenciado por reflexões múltiplas do som entre superfícies protuberantes do edifício.

3.2.1.3.4. Generalidades

Em princípio qualquer uma destas posições podem ser utilizadas, desde que a posição seja assinalada no relatório, e sejam verificadas as devidas condições de acordo com as normas.

Devem ser efetuadas pelo menos 1 medição em cada período de referência, sendo aconselhado mais medições para melhor caracterizar o ruído ambiente.

No Regulamento geral de Ruído descreve que a posição do sonómetro deve sempre que tecnicamente possível, estar afastado, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo, e situar-se a uma altura de 3,8 m a 4,2 m acima do solo, quando aplicável, ou de 1,2 m a 1,5 m de altura acima do solo ou do nível de cada piso de interesse, nos restantes casos;

Segundo o guia 22 (6) para as medições de ruído ambiente da Associação Portuguesa de Ambiente, geralmente para a medição, a altura do microfone deve estar situada entre $(4,0 \pm 0,5)$ m em zonas onde existam habitações com mais que um andar, nas outras zonas será suficiente utilizar alturas entre 1,2 a $1,5 \pm (0,1)$ m.

3.2.1.3.5. Exemplos do Guia prático para medições de ruído ambiente da Associação Portuguesa de Ambiente (6)

Exemplo 1 - O ensaio com o objetivo de validar mapa de ruído calculado a 4 m do solo, deve ser efetuado entre 3,8 a 4,2 m acima do solo.

Exemplo 2 - O ensaio com o objetivo de avaliar uma reclamação de habitante de edifício térreo com jardim, deve ser efetuado entre 1,2 a 1,5m de altura acima do solo.

Exemplo 3 - O ensaio com o objetivo de avaliar uma reclamação de habitante de edifício térreo com jardim, deve ser efetuado afastada, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo.

Exemplo 4 - O ensaio com o objetivo de avaliar o ruído de uma rua com tráfego rodoviário, edifícios de habitação dispostos paralelamente à rua e com 1m de passeio, pode ser efetuado entre 0,5 m a 2 m dos edifícios aplicando uma correção ao valor medido de -3dB, de acordo com o item 8.3.1 c) da NP ISO 1996-2.

Exemplo 5 - O ensaio num 5º andar sem varandas com o objetivo de avaliar uma reclamação de habitante, pode ser efetuado com a janela aberta, colocando o microfone entre 0,5 m a 2 m da fachada e aplicando uma correção ao valor medido de -3dB, de acordo com o item 8.3.1 c) da NP ISO 1996-2.

3.2.1.4. Tempo de medição

Para a escolha de intervalos de tempo de observação e medição adequados, pode ser necessário efetuar medições de pesquisa durante períodos de tempo relativamente longos. Deve ser selecionado um intervalo de tempo de medição que abranja todas as variações significativas da emissão e propagação do ruído. Se o ruído tiver um carácter periódico, o intervalo de tempo de medição deverá abranger pelo menos três períodos completos. Se neste período de tempo não for possível efetuar uma medição em contínuo, devem ser escolhidos intervalos de tempo de medição de forma a que cada um seja representativo de uma parte do ciclo, e todos em conjunto sejam representativos do ciclo completo. Caso a seguinte equação seja cumprida a medição será de pelo menos 5 minutos.

$$\frac{h_s + h_r}{r} \geq 0,1 \quad (3.5)$$

Onde:

h_s é a altura da fonte;

h_r é a altura do recetor;

r é a distância entre a fonte e o recetor

Caso a equação não seja cumprida, no mínimo deve ser utilizada uma medição durante 10 minutos.

Face à duração dos períodos de referência, e à variabilidade das fontes sonoras em causa, pode ser necessário definir e caracterizar diversos patamares em cada período.

As variações das principais fontes sonoras existentes devem ser analisadas e quantificadas ao longo de um período de referência, de modo a permitir a definição correta dos patamares necessários; estas variações podem incluir variações significativas na intensidade de tráfego, funcionamento ou paragem de indústrias, existência de outras atividades ruidosas. Para cada patamar o procedimento deve ser efetuado considerando uma situação análoga aos diversos períodos de referência. Por exemplo, efetuar 3 medições durante o patamar.

Além das variações dos níveis sonoros ao longo de um período de referência, deve ainda ser estudada a sua variação em diferentes períodos de referência. Para este efeito, as medições serão repetidas em pelo menos um segundo período de referência, permitindo analisar as variações correspondentes a dois dias (períodos de referência) distintos. Para cada ponto será então calculada a média, em energia, dos valores medidos nos diferentes dias.

Em casos extremos, de grandes variações de resultados entre dias diferentes ou quando seja expectável a existência de variações importantes devidas por exemplo a efeitos sazonais, poderá ser necessário efetuar medições em mais períodos de referência (dias) distintos.

Resumidamente, dependendo da fonte sonora podemos considerar os seguintes aspetos gerais, que são indicativos de tempos de ensaios médios necessários:

3.2.1.4.1. Tráfego rodoviário

Devem ser contadas as passagens de veículos, divididos em duas categorias, pesados e ligeiros. Para o tempo de referência o número de passagens mínimo é de 30 veículos.

Para a incerteza padrão, visto que o seu valor depende fortemente do número de passagens, esta é calculada por

$$X \cong \frac{10}{\sqrt{n}} dB \quad (3.6)$$

3.2.1.4.2. Tráfego ferroviário

As medições devem incluir o ruído proveniente da passagem de pelo menos, 20 comboios. Cada categoria de comboios deve ser representada pelo menos com 5 passagens de comboios.

3.2.1.4.3. Tráfego aéreo

As medições devem englobar cinco ou mais passagens de cada tipo de aeronave com contribuição significativa para o nível de pressão sonora a determinar. Deve ser que o padrão de tráfego é relevante para o cenário em consideração.

3.2.1.4.4. Instalações industriais

As condições de funcionamento da fonte devem ser divididas em classes. Para cada classe, a variação temporal da emissão sonora da instalação deve ser razoavelmente estacionária. Esta variação deve ser menor do que a variação decorrente da atenuação da propagação devida às variações nas condições meteorológicas. A variação temporal da emissão sonora da instalação durante uma determinada condição de funcionamento deve ser determinada a partir de valores de L_{eq} medidos em períodos de 5 a 10 minutos, e a uma distância suficientemente grande para incluir todas as contribuições ruidosas das principais fontes e suficientemente pequena para minimizar efeitos meteorológicos. Se a fonte tiver funcionamento cíclico, o tempo de medição deve englobar um número inteiro de ciclos. Caso este critério seja excedido, deve ser realizada uma nova categorização das condições de funcionamento. Se o critério for cumprido, mede-se o valor de L_{eq} para cada classe de condições de funcionamento e calcula-se o valor global de L_{eq} resultante, tendo em consideração a respetiva taxa de ocorrência e a duração de cada classe.

3.2.1.4.5. Fontes sonoras de baixa frequência

Helicópteros, vibrações em pontes, comboios subterrâneos, instalações de estampagem, equipamento de construção pneumático, etc., são exemplos de fontes sonoras de baixa frequência.

Em medições no exterior, o sonómetro deve ser colocado a pelo menos 16 m da superfície refletora significativa mais próxima, para além do solo.

3.2.1.4.6. Exemplos do Guia prático para medições de ruído ambiente da Associação Portuguesa de Ambiente (6)

A duração de cada medição é determinada fundamentalmente pela estabilização do sinal sonoro em termos de $L_{Aeq,t}$, a avaliar pelo operador do sonómetro. Regra geral, a duração mínima deve ser de 15 minutos devido, normalmente, à multiplicidade de fontes e à variabilidade das condições de propagação que influenciam o registo de medição.

3.2.1.5. Medição do som residual

Em medições de ruído ambiente, o som residual como definido na ISO 1996-1, tal como qualquer outro ruído para além dos sons específicos em estudo, é frequentemente um problema. Uma das razões prende-se com o facto de a regulamentação exigir frequentemente que o ruído de diferentes tipos de fontes sonoras seja tratado separadamente. Esta separação, por exemplo, do ruído de tráfego relativamente ao ruído industrial, na prática é difícil de concretizar. Outra razão prende-se com o facto de as medições serem normalmente realizadas no exterior. O ruído do vento, induzido diretamente no microfone ou provindo indiretamente através das árvores, edifícios, etc., poderá também afetar o resultado obtido. As características destas fontes sonoras podem dificultar ou até mesmo impossibilitar a aplicação de qualquer correção.

Se o nível de pressão sonora residual for inferior ao nível de pressão sonora medido em 10 dB ou mais, não devem ser feitas correções. O valor medido é então válido para a fonte em avaliação.

Se o nível de pressão sonora residual for inferior ao nível de pressão sonora medido em 3 dB ou menos, não são permitidas correções, e a incerteza da medição é significativa. Os resultados poderão, no entanto, ser registados e utilizados para determinar um limite superior do nível de pressão sonora da fonte em avaliação.

Se estes resultados forem registados, tal deve constar claramente no relatório, bem como ser indicado nos gráficos e quadros de resultados, que o valor apresentado não pode ser corrigido de modo a eliminar o efeito do som residual.

Nos casos em que o nível de pressão sonora residual se situa entre 3 dB a 10 dB abaixo do nível de pressão sonora medido, este deve ser corrigido de acordo com a equação:

$$L_{corr} = 10 \log(10^{L_{med}/10} - 10^{L_{res}/10}) \quad (3.7)$$

Onde:

L_{corr} é o nível de pressão sonora corrigido;

L_{med} é o nível de pressão sonora medido;

L_{res} é o nível de pressão sonora do ruído residual.

3.2.1.6. Parâmetros a medir

Os parâmetros a medir, quer na caracterização do ruído ambiente quer na caracterização do ruído residual, são:

L_{Aeq} – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A;

3.2.1.7. Representatividade da amostra e critérios de interrupção do ensaio

Como foi referido anteriormente, para que o ensaio seja representativo do ruído em estudo, deve ser feito um estudo prévio para que as condições de funcionamento da fonte sejam estatisticamente representativas do ruído ambiente em consideração. No entanto, durante o ensaio podem existir situações que provoquem o cancelamento ou adiamento do ensaio.

Situações que provoquem o cancelamento ou adiamento do ensaio, podem ser, por exemplo, as seguintes:

- Alterações das condições climatéricas nomeadamente o aparecimento de chuva;
- Aparecimento de ruídos não representativos, que mesmo podendo ser temporários, adiam inevitavelmente os ensaios;
- Problemas com a calibração, por exemplo no início e no fim do ensaio existir uma diferença superior a 0,5dB nas leituras de calibração do sonómetro;
- Alterações no funcionamento do emissor do ruído, que não sejam representativas do mesmo.

Nestas situações, o operador técnico deve tomar a decisão, após a interrupção do ensaio, se existirão condições para o ensaio ser retomado, ou terá de ser adiado.

3.2.1.8. Pausas nos ensaios

No decurso do ensaio, podem existir interferências pontuais, (exemplo: um telemóvel que toca, alguém que passa em frente ao sonómetro, respiração, espirros, entre outros, que podem afetar o resultado do ensaio. Quando uma situação destas acontece, é possível efetuar um recuo no ensaio, apagando os últimos segundos e colocando o equipamento em pausa, retomando o ensaio assim que a perturbação termine, a duração do ensaio deve ser mantida, por exemplo se a medição for de 10 m, e a interrupção ocorra aos 2 minutos, devem ser efetuados os restantes 8 minutos.

Nota: Caso a interrupção não permita que a o ensaio seja prosseguido, este deve ser adiado, no entanto, se o tempo decorrido já for representativo da atividade, pode ser mantida a medição.

3.2.2. Determinação do critério de incomodidade

3.2.2.1. Generalidades

O seguinte procedimento segue a legislação e normas em vigor e “Guia APA 22 - Guia prático para medições de ruído ambiente no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996” (6)

As medições devem seguir os mesmos pressupostos para estudo prévio, janelas de emissão, representatividade das amostras e pausas nos ensaios, descritas para a medição do nível sonoro médio de longa duração.

Na avaliação do critério de incomodidade a representatividade de um mês poderá ser satisfeita, mediante adoção do seguinte procedimento.

3.2.2.1.1. Existência de reclamação prévia

O ensaio basear-se-á na recolha de pelo menos duas amostras de som total e de som residual, em dias distintos, em cada um dos períodos de referência que estejam em causa, e em condições de funcionamento da atividade que o reclamante identifica como estando na origem da incomodidade.

Caso a diferença entre os níveis L_{Aeq} do som total, obtidos nas amostras anteriores, for superior a 5 dB(A), será realizada uma ou mais amostras adicionais, devendo a totalidade das amostras ser representativa de um mês.

3.2.2.1.2. Inexistência de reclamação prévia (controlo preventivo)

O ensaio basear-se-á na recolha de pelo menos duas amostras de som total e de som residual, em dias distintos e em condições normais de funcionamento da atividade.

Caso a diferença entre os níveis L_{Aeq} do som total, obtidos nas duas amostras anteriores, for superior a 5 dB(A), será realizada uma ou mais amostras adicionais, devendo a totalidade das amostras ser representativa de um mês.

3.2.2.2. Posições do Microfone

As posições no exterior devem seguir exatamente o descrito a quando da medição do nível sonoro médio de longa duração, no entanto, se as medições forem efetuadas no interior, devem ser efetuadas no mínimo três posições diferentes, uniformemente distribuídas pelo compartimento recetor.

Usualmente uma posição deve ser um canto, com as paredes mais pesadas e sem aberturas, respeitando os seguintes afastamentos mínimos:

- 0,5 m a todos os limites do compartimento;
- 0,5 m a qualquer abertura.

As restantes posições devem ser posicionadas uniformemente pelo compartimento, respeitado os seguintes afastamentos mínimo:

- 0,5 m dos limites do compartimento;
- 1,0 m de elementos onde a redução sonora seja baixa, como janelas ou entradas de ar;
- 0,7 m entre posições do microfone;

3.2.2.3. Tempo de medição

O tempo de medição deve caracterizar efetivamente o ruído a analisar. O tempo de medição mínimo de cada ensaio deve ser de 10 m, o tempo total de medições deve ser no mínimo 30m.

Face à duração dos períodos de referência, e à variabilidade das fontes sonoras em causa, pode ser necessário definir e caracterizar diversos patamares em cada período.

As variações das principais fontes sonoras existentes devem ser analisadas e quantificadas ao longo de um período de referência, de modo a permitir a definição correta dos patamares necessários; estas variações podem incluir variações

significativas na intensidade de tráfego, funcionamento ou paragem de indústrias, existência de outras catividades ruidosas.

Além das variações dos níveis sonoros ao longo de um período de referência, deve ainda ser estudada a sua variação em diferentes períodos de referência. Para este efeito, as medições serão repetidas em pelo menos um segundo período de referência, permitindo analisar as variações correspondentes a dois dias (períodos de referência) distintos. Para cada ponto será então calculada a média, em energia, dos valores medidos nos diferentes dias.

Em casos extremos, de grandes variações de resultados entre dias diferentes ou quando seja expectável a existência de variações importantes devidas por exemplo a efeitos sazonais, poderá ser necessário efetuar medições em mais períodos de referência (dias) distintos.

3.2.2.4. Medição do som residual

A medição do som residual será feita antes ou depois da medição do ruído causado pela atividade ruidosa permanente. A duração deve ser a suficiente para caracterizar a situação normal do ruído residual. O tempo mínimo em que deverá ser efetuada a medição será de 30s. Sendo aconselhado períodos maiores caso seja necessário.

3.2.2.5. Parâmetros a medir

Os parâmetros a medir, quer na caracterização do ruído ambiente quer na caracterização do ruído residual, são:

L_{Aeq} – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A;

$L_{Aeq (imp.)}$ – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, medido com a característica impulsiva;

$L_{Aeq,f}$ – nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, em cada banda de terço de oitava;

3.2.2.6. Verificação da existência de ruído com características tonais

A verificação da existência de ruído com características tonais é efetuada nas medições referentes ao som total e ao som residual.

O método para a determinação do som com características tonais consiste em verificar, no espectro de um terço de oitava, se existe uma banda cujo nível excede o das adjacentes em 5 dB ou mais.

A medição deve ser efetuada na gama de frequências entre 50 Hz e 10 KHz por bandas de frequências de 1/3 de oitava e com malha de ponderação A.

3.2.2.7. Verificação da existência de ruído com características impulsivas

A verificação da existência de ruído com características impulsivas é efetuada nas medições referentes ao som total e ao som residual.

O método para detetar as características impulsivas do ruído consiste em determinar a diferença entre o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , medido em simultâneo com características impulsivas e fast. Se esta diferença for superior a 6 dB, o ruído deve ser considerado impulsivo.

3.3. Equipamento utilizado

Para a realização das medições acústicas é necessário a utilização, no mínimo dos seguintes equipamentos.

3.3.1. Sonómetro

De acordo com a norma NP ISO 1996-2 2011, o sistema de medição, incluindo o microfone, protetor de vento, cabos e registradores, se existirem, devem cumprir um dos seguintes requisitos:

- Classe 1, como especificado na IEC 61672-1:2013; (8)
- Classe 2, como especificado na IEC 61672-1:2013, (8)

Devido à utilização de filtros de bandas de oitavas ou de terços de oitava, os sistemas de medição da classe 1 e da classe 2, devem cumprir os requisitos dos filtros da classe 1 ou da classe 2

A legislação portuguesa, define que a classe 1 será preferível para as avaliações acústicas.



Figura 12 Sonómetro (Brüel & Kjær 2250)

O equipamento deve ter uma verificação metrológica anual, por imposição legal, calibração bienal, e os filtros de banda de oitava e terço de oitava devem ter uma calibração bienal (9)

3.3.2. Calibrador Acústico

O calibrador acústico serve para verificar o estado geral de calibração do equipamento, ou seja, comparar aos valores de fábrica, ou ultima calibração, do equipamento.

Valores demasiados baixos ou elevados podem levar a pensar que o equipamento esteja danificado, por exemplo microfone com problemas ou pré-amplificador defeituoso.

Medições afetadas por valores de calibração errôneos podem levar a resultados errados e sem validade.

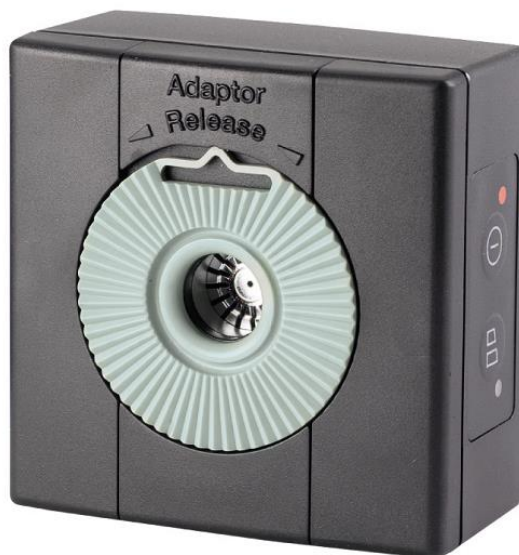


Figura 13 Calibrador acústico (Brüel & Kjær 4231)

Uma nota relevante sobre a utilização do calibrador sonoro, é que este deve apenas servir como elemento de comparação a um valor definido. Ou seja, este emite um som puro a 90dB, e é mostrada a diferença que o sonómetro lê. Este valor deve ser apontado e não deve ser aceite no próprio sonómetro, pois isso implicaria a alteração da definição de fábrica ou calibração executada por entidade acreditada para tal.

Segundo o VIM, Vocabulário internacional de Metrologia (10), calibração é a operação que, em condições especificadas, num primeiro passo, estabelece a relação entre os valores da grandeza com incertezas de medição provenientes de padrões e as indicações correspondentes com incertezas de medição associadas e, num segundo passo, usa esta informação para estabelecer uma relação para obter o resultado de medição de uma indicação. A calibração não deve ser confundida com o ajuste de um sistema de medição, muitas vezes denominado erradamente “auto-calibração”, nem com a verificação da calibração.

O equipamento deve ter uma calibração anual (9)

3.3.3. Termoanemômetro

O termoanemômetro (equipamento utilizado durante estas medições, no entanto poderia ser dois equipamento, nomeadamente o termómetro e o anemómetro), serve como equipamento complementar para a execução das medições, não sendo um equipamento que vá apresentar os resultados das medições de ruídos, mas apresenta os dados relevantes para que seja possível verificar a validade das janelas meteorológicas para a execução dos ensaios.



Figura 14 Termoanemómetro (TSI Velocicalc Air Velocity meter 9535)

O equipamento deve ter uma calibração bienal (9)

3.3.4. Higrómetro

O higrómetro, assim como o termoanemómetro serve para apresentar os dados relevantes para que seja possível verificar a validade das janelas meteorológicas para a execução dos ensaios.



Figura 15 Higrómetro (Extech Instruments Hygrometer)

O equipamento deve ter uma calibração bienal (9)

3.4. Procedimento de cálculo

3.4.1. Nível sonoro médio de longa duração

O procedimento de cálculo do indicador de ruído Diurno-Entardecer-Noturno L_{den} , encontra-se definido na legislação portuguesa, Decreto-Lei 9/2007, e é dado pela seguinte expressão

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (3.8)$$

Ver ponto 3.1 para definição dos fatores de cálculo.

O valor de obtido de L_{den} , será o valor a comparar com a legislação atual, de forma a verificar a conformidade legal das medições efetuadas.

3.4.2. Critério de incomodidade

O procedimento de cálculo do critério de incomodidade, encontra-se definido na legislação portuguesa, Decreto-Lei 9/2007, e é dado pela seguinte expressão

$$L_{Ar} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 \quad (3.9)$$

Em que:

K_1 é a correção tonal e K_2 é a correção impulsiva. Para ambos o valor será de 3dB(A), sendo que um som que seja tonal e impulsivo, deve ser acrescentado 6 dB(A).

Aos valores limite da diferença estabelecidos na alínea b) do n.º 1 do artigo 13.º do Regulamento Geral do Ruído, deve ser adicionado o valor D indicado na tabela seguinte. O valor D é determinado em função da relação percentual entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência.

Tabela 16 Valor D, de acréscimos aos limites do critério de incomodidade

Valor percentual (q) entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência	D em dB(A)
$q \leq 12,5\%$	4
$12,5\% < q \leq 25\%$	3
$25\% < q \leq 50\%$	2
$50\% < q \leq 75\%$	1
$q > 75\%$	0

Exceções à tabela anterior — para o período noturno não são aplicáveis os valores de D=4 e D=3, mantendo-se D=2 para valores percentuais inferiores ou iguais a 50%. Excetua-se desta restrição a aplicação de D=3 para catividades com horário de funcionamento até às 24 horas.

3.5. Avaliação de incertezas na medição

3.5.1. Nível sonoro médio de longa duração

A legislação portuguesa atual não obriga ao cálculo de incertezas nas medições, no entanto, a norma NP ISO 1996-2 2011, define que deve ser calculada. Desta forma, como foi referido no ponto 3.4, sendo o nível sonoro médio de longa duração:

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (3.10)$$

A incerteza é calculada com:

$$u(L_{den}) = \sqrt{\left(\frac{\delta L_{den}}{\delta L_d} \times u(L_d)\right)^2 + \left(\frac{\delta L_{den}}{\delta L_e} \times u(L_e)\right)^2 + \left(\frac{\delta L_{den}}{\delta L_n} \times u(L_n)\right)^2} \quad (3.11)$$

Em que:

$$u(L_d) = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (3.12)$$

$$u(L_e) = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (3.13)$$

$$u(L_n) = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (3.14)$$

$$\frac{\delta L_{den}}{\delta L_d} = \frac{13 \times 10^{\frac{L_d}{10}}}{13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}}} \quad (3.15)$$

$$\frac{\delta L_{den}}{\delta L_e} = \frac{8 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}}}{13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}}} \quad (3.16)$$

$$\frac{\delta L_{den}}{\delta L_n} = \frac{8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}}}{13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}}} \quad (3.17)$$

Sendo a Incerteza expandida:

$$U(L_{den}) = 2 \times u(L_{den}) \quad (3.18)$$

Em que:

$u(L_i)$ – É a incerteza associada ao indicador

$U(L_{den})$ – É a incerteza expandida

Nota: Este cálculo só é valido para situações em que não existem diferentes ambientes acústicos, por exemplo, não é valida para campanhas de levantamentos diferentes, períodos de referência em que existem patamares. Para essas situações deve ser usado o cálculo de incertezas para cada um dos diferentes patamares ou dias independentemente.

3.5.1.1. Componentes da incerteza**3.5.1.1.1. Componente X:**

É obtido através do desvio padrão experimental da média das leituras efetuadas em cada um dos períodos de referência.

$$\sigma_{i,experimental} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}{n - 1}} \quad (3.19)$$

3.5.1.1.2. Componente Y(σ_m)

Se a distância entre a fonte sonora, d , e o recetor for superior a 400 m, o desvio padrão é igual a:

$$\sigma_m = \left(1 + \frac{d}{400}\right) dB \quad (3.20)$$

Se a distância entre a fonte sonora, d , e o recetor for inferior a 400m, o desvio padrão é igual a:

Posição A “alta”: $h_s \geq 1,5\text{ m}$ e $h_r \geq 1,5\text{ m}$ ou $h_s < 1,5\text{ m}$ e $h_r \geq 4\text{ m}$

Posição B “baixa”: $h_s < 1,5\text{ m}$ e $h_r \leq 1,5\text{ m}$

Em que:

h_s Corresponde à altura da fonte sonora;

h_r Corresponde à altura do recetor.

Tabela 17 Desvio padrão relativo à posição

A	C		R<-10 km	
	$\sigma_m = 1,5dB$		$\sigma_m = 2dB$	
Distância, d	25m	50m	100m	400m
B	R<10 km			
	$\sigma_m = 2dB$			
Distância, d	25m	50m	100m	400m

Quando a energia se propague sobre um solo refletor, σ_m assume o valor de 0,5dB sempre a distância seja de até 25 m, em posição “baixa” ou de até 50m se em posição “alta”.

3.5.1.1.3. Componente Z

Se o ruído em análise corresponder a uma fonte particular (rodoviária, ferroviária, industrial, ou outras) então:

$$Z = \left(\sqrt{2} \times 10^{\frac{(L_{total} - L_{residual})}{10}} \times u(L_{residual}) \right) \quad (3.21)$$

Em que:

$$u(L_{residual}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L_j - \bar{L})^2}{n - 1}} \quad (3.22)$$

Nas situações em que não exista uma fonte específica a caracterizar, então a componente Z é nula.

3.5.2. Critério de incomodidade

A legislação portuguesa atual não obriga ao cálculo de incertezas nas medições, no entanto, a norma NP ISO 1996-2 2011, define que deve ser calculada. Desta forma, como foi referido no ponto 3.4, sendo o critério de incomodidade:

$$v_{incomodidade} = L_{ar} - L_{residual} \quad (3.23)$$

Em que:

$$u(L_{Ar}) = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2} \quad (3.24)$$

$$u(L_{residual}) = \sqrt{1,0^2 + X^2 + Y^2} \quad (3.25)$$

3.5.2.1. Componentes da incerteza

3.5.2.1.1. Componente X

É obtido através do desvio padrão experimental da média das leituras efetuadas em cada um dos períodos de referência, obtido pelo desvio padrão experimental da média das leituras efetuadas em cada um dos períodos de referência.

$$u(L_{Ar}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L_j - \bar{L})^2}{n - 1}} \quad (3.26)$$

$$u(L_{residual}) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L_j - \bar{L})^2}{n - 1}} \quad (3.27)$$

3.5.2.1.2. Componente Y(σ_m)

A componente Y(σ_m) é calculada da mesma forma que descrito para o nível sonoro médio de longa duração.

Capítulo 4 – Casos de estudo

4.1. Novo Hospital de Braga



Figura 16 Novo Hospital de Braga

4.1.1. Enquadramento geral

As medições ocorreram por solicitação do Dono de Obra, de forma aferir preventivamente o ruído emitido pelo hospital.

O Hospital situa-se na zona mais a norte da Cidade, numa zona maioritariamente de floresta, onde se iniciou a ocupação do terreno por urbanizações essencialmente familiares.

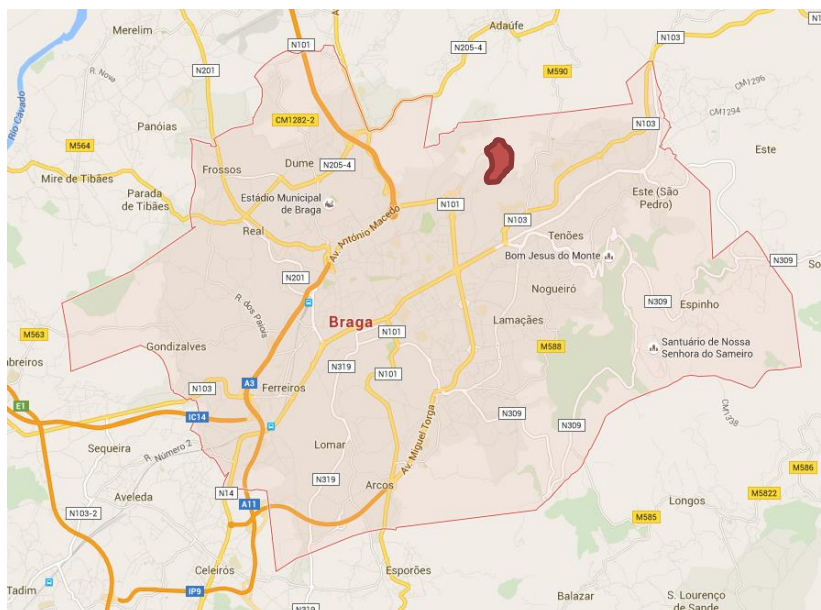


Figura 17 Mapa da Cidade de Braga, com a localização do Hospital (11)

Na cidade de Braga já foi executado um mapa de ruído que poderia servir de referência para as medições a executar, no entanto, este encontra-se incompleto, e desta forma não permite tirar conclusões sobre o local onde está implantado o Hospital. No entanto por definição do Regulamento Geral de Ruído, a zona onde um hospital está implementado é sempre uma zona sensível.

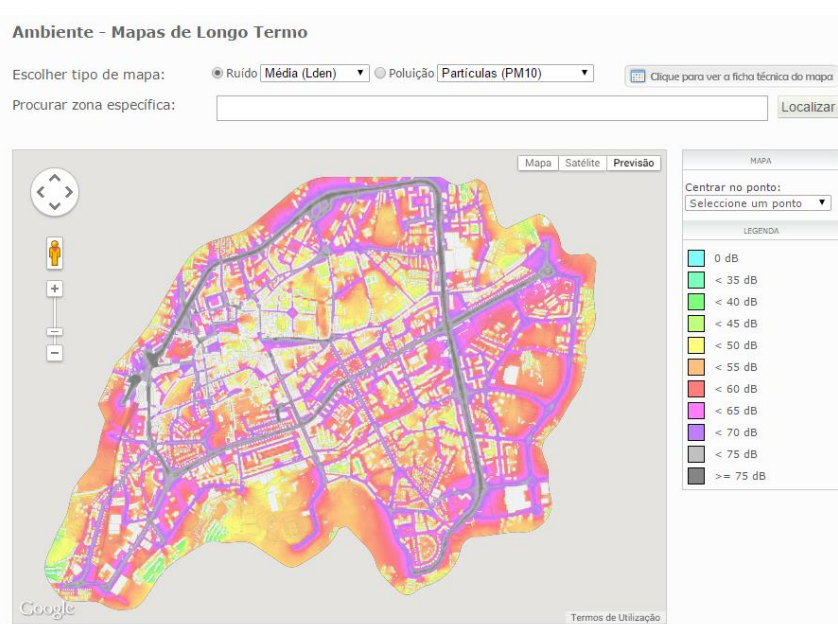


Figura 18 Ambiente – Mapas de Longo Termo, Lden (12)

4.1.1.1. Localização dos pontos de medição

Os pontos de medição foram seleccionados em conjunto com o Dono de Obra de forma a caracterizarem a envolvente Este do hospital.



Figura 19 Visão geral do hospital e da sua envolvente

Tabela 18 Localização dos pontos de medição para som total





Ponto		Recetor	Som mais audível	Distancia ao emissor, d (m)
	1	Apartamentos localizados a Este do Hospital	Ventiladores no topo do Hospital	46
	2	Apartamentos localizados a Este do Hospital	Ventiladores no topo do Hospital	63
	3	Apartamentos localizados a Este do Hospital	Chiller na casa das máquinas	20

Tabela 19 Ponto de medição para som residual

Pontos		Som mais audível	Distancia ao emissor, d (m)	Observações
	1,2, 3	Viaturas, animais	73	Usado este ponto suficientemente parecido com a via onde foram medidos os pontos 1, 2 e 3

4.1.2. Resultados das medições

4.1.2.1. Medições do nível sonoro médio de longa duração, L_{den}

Nas tabelas seguintes apresentam-se os dados obtidos pelas medições efetuadas nos três pontos, em duas campanhas de medição, durante os três períodos de referência. São apresentados os dados climatéricos obtidos, no entanto estes não têm influência nos resultados, pois as medições foram efetuadas suficientemente próximas das fontes, para que o impacto das condições meteorológicas sejam negligenciadas.

Como referência para o cálculo da influência das condições climatéricas, utilizam-se as seguintes expressões:

$$c_{met} = 0 \text{ se } d_p \leq 10(h_s + h_r) \text{ ou} \quad (4.1)$$

$$c_{met} = c_0[1 - 10(h_s + h_r)/d_p] \text{ se } d_p > 10(h_s + h_r) \quad (4.2)$$

Onde:

- h_s – Altura do emissor (fonte), em metros;
- h_r – Altura do recetor, em metros; d_p – Distancia entre a fonte e o recetor, em metros;
- C_0 – Fator, em decibéis, que depende das estatísticas metrológicas locais, da velocidade e direção do vento e dos gradientes de temperatura.

4.1.2.1.1. Ponto 1

Tabela 20 Dados das medições – Ponto 1 – 1ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	12/12/2011	9:07	12/12/2011	9:17
	12/12/2011	9:18	12/12/2011	9:28
	12/12/2011	9:29	12/12/2011	9:39
Entardecer Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	22/12/2011	20:09	22/12/2011	20:18
	22/12/2011	20:18	22/12/2011	20:25
	22/12/2011	20:25	22/12/2011	20:30
Noturno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, vento e ventiladores do hospital	22/12/2011	23:07	22/12/2011	23:12
	22/12/2011	23:12	22/12/2011	23:19
	22/12/2011	23:19	22/12/2011	23:24

Tabela 21 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 1


Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	1	55.4				49.8				50.8			
		54.3				49.6				50.7			
		53.4				50.2				49.0			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		4	15	46	1.46	4	15	46	0.7	4	15	46	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		54.4				49.9				50.2			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.75		E		20,1º Sol				40%				
	0.82		E		19,7º Sol				40%				
	0.85		E		19,7º Sol				41%				
Entardecer	0.89		E		7,8º Céu limpo				73%				
	0.75		E		6,7º Céu limpo				73%				
	0.76		E		6,7º Céu limpo				73%				
Noturno	0.60		ENE		4,2º Céu limpo				76%				
	0.77		ENE		3,5º Céu limpo				75%				
	0.62		ENE		3,5º Céu limpo				75%				

Tabela 22 – Dados das medições – Ponto 1 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	22/12/2011	13:02	22/12/2011	13:12
	22/12/2011	13:18	22/12/2011	13:28
	22/12/2011	13:28	22/12/2011	13:41
Entardecer Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	29/12/2011	20:10	29/12/2011	20:16
	29/12/2011	20:16	29/12/2011	20:21
	29/12/2011	20:21	29/12/2011	20:26
Noturno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, vento e ventiladores do hospital	29/12/2011	21:31	29/12/2011	21:36
	29/12/2011	23:46	29/12/2011	23:51
	29/12/2011	23:52	29/12/2011	23:57

Tabela 23 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 2

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	2	52.1				49.6				51.8			
		49.3				48.8				48.9			
		51.4				48.8				48.5			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		4	15	46	1.46	4	15	46	0.7	4	15	46	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		51.1				49.1				50.0			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.77		E		23,1º Sol				41%				
	0.82		E		19,6º Sol				40%				
	0.87		E		19,7º Sol				41%				
Entardecer	0.9		E		7,3º Céu limpo				74%				
	0.79		E		7,2º Céu limpo				74%				
	0.78		E		7,1º Céu limpo				74%				
Noturno	0.62		E		5,2º Céu limpo				76%				
	0.77		E		5,2º Céu limpo				77%				
	0.63		E		5,1º Céu limpo				78%				

4.1.2.1.2. Conformidade

Calculando a média logarítmica das medições:

$$L_{med,per.} = 10 \log \frac{1}{3} \left(10^{L_{per,1}/10} + 10^{L_{per,2}/10} + 10^{L_{per,3}/10} \right) \quad (4.3)$$

Posteriormente deve ser efetuado um cálculo análogo para a média logarítmica das duas campanhas de medição

$$L_{med,campanhas} = 10 \log \frac{1}{2} \left(10^{L_{campanha\ 1}/10} + 10^{L_{campanha\ 2}/10} \right) \quad (4.4)$$

Obtém-se os parciais, L_d ; L_e e L_n , para se efetuar o cálculo do L_{den}

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (4.5)$$

Tabela 24 Comparação dos resultados aos limites legais

L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	Indicador	Valor obtido	Valor limite por zona, dB(A)		
					Mista	Sensível	Não classificada
53	50	50	L_{den} dB(A)	57	65	55	63
			L_n dB(A)	50	55	45	53

Sendo um hospital uma zona sensível, o ponto 1, não cumpriria os limites legais, cumprindo se a zona fosse considerada mista ou não classificada.

4.1.2.1.3. Ponto 2

Tabela 25 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	12/12/2011	9:45	12/12/2011	9:55
	12/12/2011	9:55	12/12/2011	10:05
	12/12/2011	10:06	12/12/2011	10:16
Entardecer Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	22/12/2011	20:35	22/12/2011	20:40
	22/12/2011	20:40	22/12/2011	20:48
	22/12/2011	20:48	22/12/2011	20:53
Noturno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, vento e ventiladores do hospital	22/12/2011	23:29	22/12/2011	23:35
	22/12/2011	23:35	22/12/2011	23:40
	22/12/2011	23:40	22/12/2011	23:45

Tabela 26 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 1



Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	1	55.9				49.0				48.2			
		56.0				48.7				48.8			
		55.1				48.4				49.2			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		4	15	63	1.46	4	15	63	0.7	4	15	63	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		55.7				48.7				48.8			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.75		E		19,7º Sol				41%				
	0.83		E		18,9º Sol				41%				
	0.86		E		18,9º Sol				42%				
Entardecer	0.91		E		6,7º Céu limpo				73%				
	0.78		E		6,5º Céu limpo				73%				
	0.77		E		6,5º Céu limpo				74%				
Noturno	0.61		E		3,5º Céu limpo				76%				
	0.79		E		3,5º Céu limpo				76%				
	0.62		E		3,5º Céu limpo				77%				

Tabela 27 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	22/12/2011	9:40	22/12/2011	9:54
	22/12/2011	9:54	22/12/2011	10:16
	22/12/2011	11:42	22/12/2011	11:52
Entardecer Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento e ventiladores do hospital	29/12/2011	20:30	29/12/2011	20:35
	29/12/2011	20:35	29/12/2011	20:40
	29/12/2011	20:41	29/12/2011	20:46
Noturno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, vento e ventiladores do hospital	30/12/2011	0:07	30/12/2011	0:12
	30/12/2011	0:13	30/12/2011	0:18
	30/12/2011	0:19	30/12/2011	0:24

Tabela 28 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 2

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	2	52.6				48.4				47.8			
		53.1				48.6				47.9			
		51				48.7				47.9			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		4	15	63	1.46	4	15	63	0.7	4	15	63	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		52.3				48.6				47.9			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.87		E		19,6º Sol				42%				
	0.84		E		19,6º Sol				42%				
	0.91		E		19,5º Sol				42%				
Entardecer	0.81		E		7,2º Céu limpo				75%				
	0.81		E		7,2º Céu limpo				77%				
	0.84		E		7,0º Céu limpo				77%				
Noturno	0.64		E		5,0º Céu limpo				78%				
	0.65		E		5,0º Céu limpo				78%				
	0.63		E		4,9º Céu limpo				79%				

4.1.2.1.4. Conformidade

Calculando a média logarítmica das medições:

$$L_{med,per.} = 10 \log \frac{1}{3} \left(10^{L_{per,1}/10} + 10^{L_{per,2}/10} + 10^{L_{per,3}/10} \right) \quad (4.6)$$

Posteriormente deve ser efetuado um cálculo análogo para a média logarítmica das duas campanhas de medição

$$L_{med,campanhas} = 10 \log \frac{1}{2} \left(10^{L_{campanha\ 1}/10} + 10^{L_{campanha\ 2}/10} \right) \quad (4.7)$$

Obtém-se os parciais, L_d ; L_e e L_n , para se efetuar o cálculo do L_{den}

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (4.8)$$

Tabela 29 Comparação dos resultados aos limites legais

L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	Indicador	Valor obtido	Valor limite por zona, dB(A)		
					Mista	Sensível	Não classificada
54	49	48	L_{den} dB(A)	56	65	55	63
			L_n dB(A)	48	55	45	53

Sendo um hospital uma zona sensível, o ponto 2, não cumpriria os limites legais, cumprindo se a zona fosse considerada mista ou não classificada.

4.1.2.1.5. Ponto 3

Tabela 30 Dados das medições – Ponto 3 – 1ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento, <i>chillers</i> e ventiladores do hospital	12/12/2011	12:35	12/12/2011	13:00
	12/12/2011	13:00	12/12/2011	13:10
	12/12/2011	13:10	12/12/2011	13:20
Entardecer Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento, <i>chillers</i> e ventiladores do hospital	22/12/2011	21:02	22/12/2011	21:07
	22/12/2011	21:08	22/12/2011	21:13
	22/12/2011	21:14	22/12/2011	21:19
Noturno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, vento, <i>chillers</i> e ventiladores do hospital	23/12/2011	0:22	23/12/2011	0:27
	23/12/2011	0:27	23/12/2011	0:34
	23/12/2011	0:34	23/12/2011	0:39

Tabela 31 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 1



Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	1	54.7				50.1				50.9			
		56				49.6				51.1			
		56.2				49.4				51.1			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		1.5	1.5	20	1.46	1.5	1.5	20	0.7	1.5	1.5	20	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		55.7				49.7				51.0			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.12		E		18,9º Sol				43%				
	0.16		E		19,9º Sol				43%				
	0.17		E		20,0º Sol				44%				
Entardecer	0.23		E		6,5º Céu limpo				74%				
	0.21		E		6,5º Céu limpo				74%				
	0.21		E		6,4º Céu limpo				74%				
Noturno	0.15		E		3,4º Céu limpo				77%				
	0.16		E		3,4º Céu limpo				78%				
	0.15		E		3,4º Céu limpo				78%				

Tabela 32 – Dados das medições – Ponto 3 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento, <i>chillers</i> e ventiladores do hospital	22/12/2011	12:41	22/12/2011	12:51
	22/12/2011	12:52	22/12/2011	13:02
	22/12/2011	13:02	22/12/2011	13:12
Entardecer Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, animais (cães e pássaros), vento, <i>chillers</i> e ventiladores do hospital	29/12/2011	21:20	29/12/2011	21:25
	29/12/2011	21:26	29/12/2011	21:31
	29/12/2011	21:31	29/12/2011	21:36
Noturno Fontes sonoras: Tráfego rodoviário, vento, <i>chillers</i> e ventiladores do hospital	30/12/2011	1:00	30/12/2011	1:06
	30/12/2011	1:07	30/12/2011	1:12
	30/12/2011	1:13	30/12/2011	1:18

Tabela 33 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 2

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	2	52.2				52.3				52.2			
		51.7				52.0				52.3			
		52.1				51.8				52.2			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		1.5	1.5	20	1.46	1.5	1.5	20	0.7	1.5	1.5	20	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		52.0				52.0				52.2			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.16		E		19,6º Sol				43%				
	0.15		E		19,8º Sol				43%				
	0.15		E		19,8º Sol				44%				
Entardecer	0.85		E		7,0º Céu limpo				78%				
	0.88		E		7,1º Céu limpo				77%				
	0.87		E		7,0º Céu limpo				78%				
Noturno	0.66		E		4,9º Céu limpo				79%				
	0.65		E		4,9º Céu limpo				80%				
	0.65		E		4,9º Céu limpo				80%				

4.1.2.1.6. Conformidade

Calculando a média logarítmica das medições:

$$L_{med,per.} = 10 \log \frac{1}{3} \left(10^{L_{per,1}/10} + 10^{L_{per,2}/10} + 10^{L_{per,3}/10} \right) \quad (4.9)$$

Posteriormente deve ser efetuado um cálculo análogo para a média logarítmica das duas campanhas de medição

$$L_{med,campanhas} = 10 \log \frac{1}{2} \left(10^{L_{campanha\ 1}/10} + 10^{L_{campanha\ 2}/10} \right) \quad (4.10)$$

Obtém-se os parciais, L_d ; L_e e L_n , para se efetuar o cálculo do L_{den}

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (4.11)$$

Tabela 34 Comparação dos resultados aos limites legais

L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	Indicador	Valor obtido	Valor limite por zona, dB(A)		
					Mista	Sensível	Não classificada
54	51	52	L_{den} dB(A)	59	65	55	63
			L_n dB(A)	52	55	45	53

Sendo um hospital uma zona sensível, o ponto 3, não cumpriria os limites legais, cumprindo se a zona fosse considerada mista ou não classificada.

4.2. Novo Hospital de Vila Franca de Xira



Figura 20 Novo Hospital de Vila Franca de Xira

4.2.1. Enquadramento geral

As medições ocorreram por solicitação do Dono de Obra, de forma aferir preventivamente o ruído emitido pelo hospital, e apresentar os resultados num estudo de impacto ambiental.

O Hospital situa-se na zona de Povos, Vila Franca de Xira, numa zona maioritariamente de floresta.

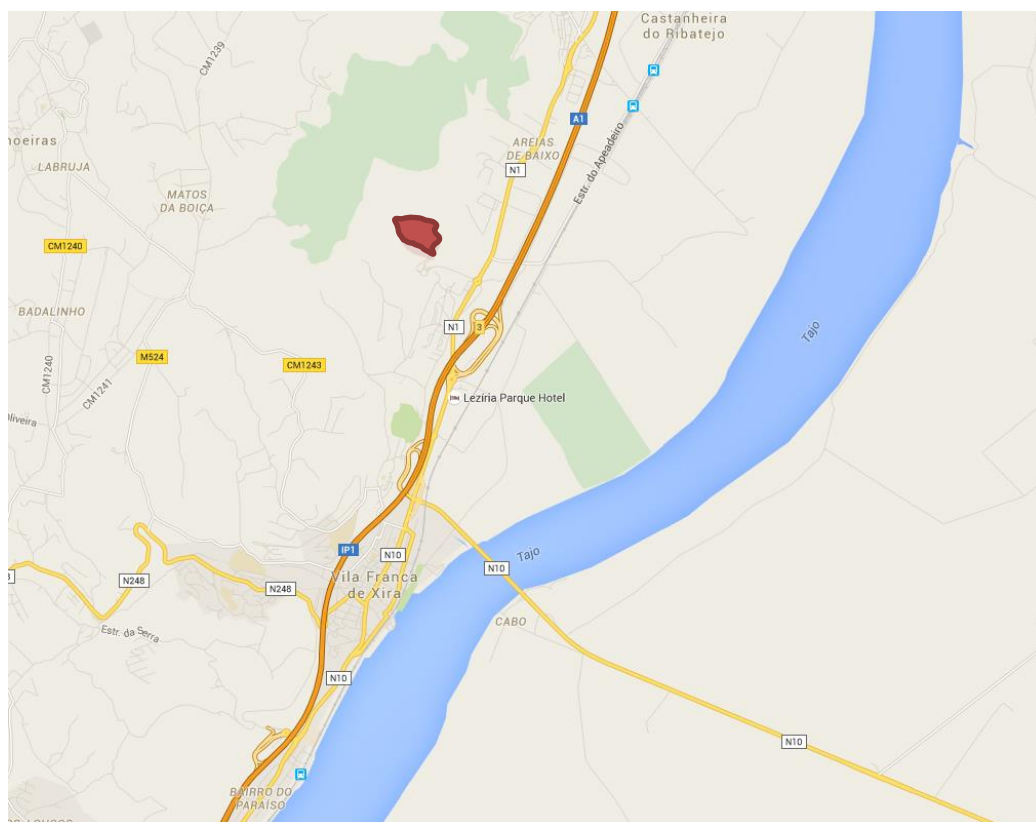


Figura 21 Mapa de Vila Franca de Xira, com a localização do Hospital (11)

A cidade de Vila Franca de Xira, já dispõe de mapa de ruído (13), que foram realizados ainda antes da construção do Hospital.

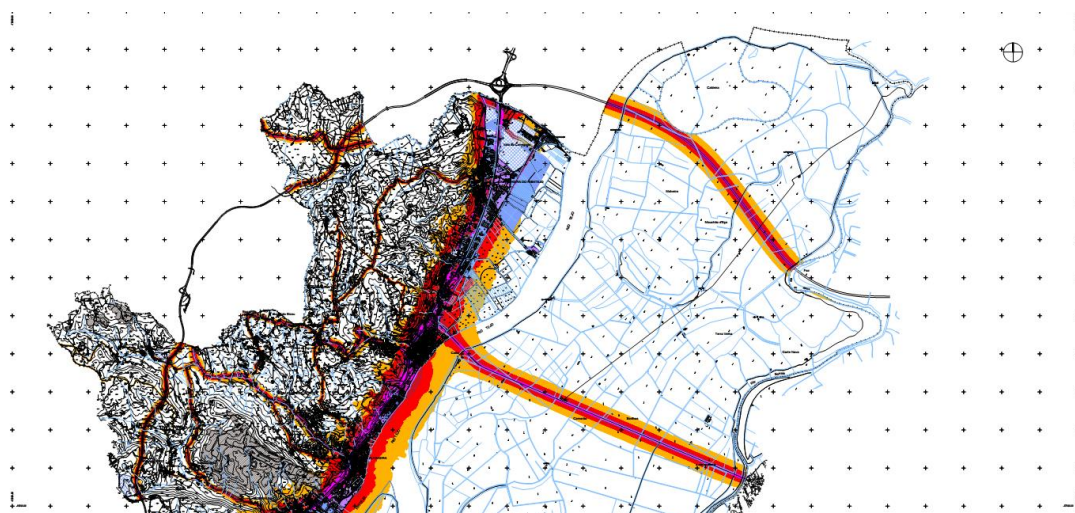


Figura 22 Vista Geral do Mapa de Ruído de Vila Franca de Xira

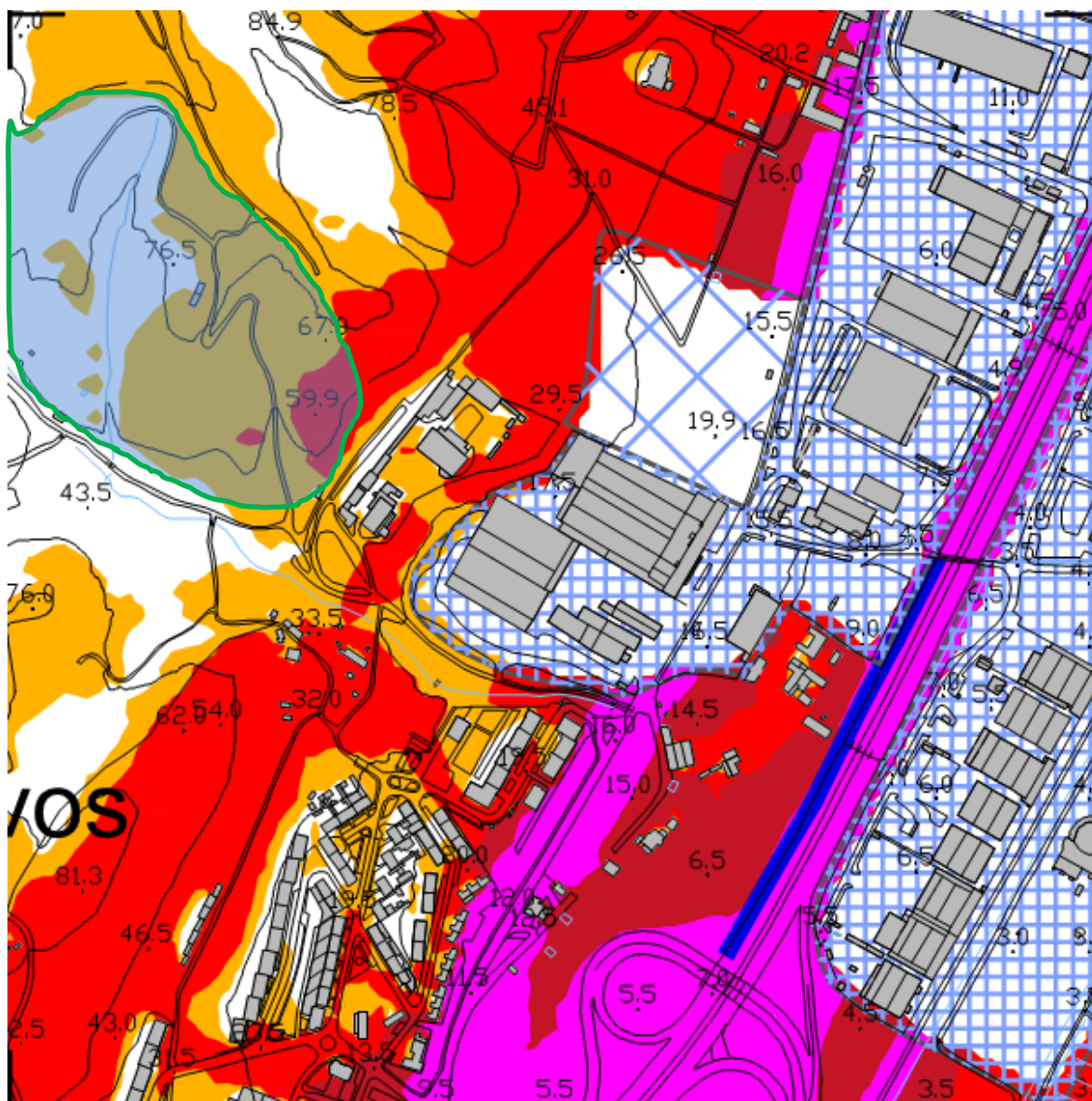


Figura 23 Ampliação do Mapa de ruído, com a localização do hospital, L_{den} (13)

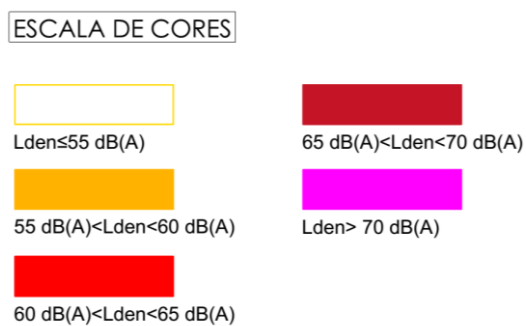


Figura 24 Escala de cores, L_{den} (13)

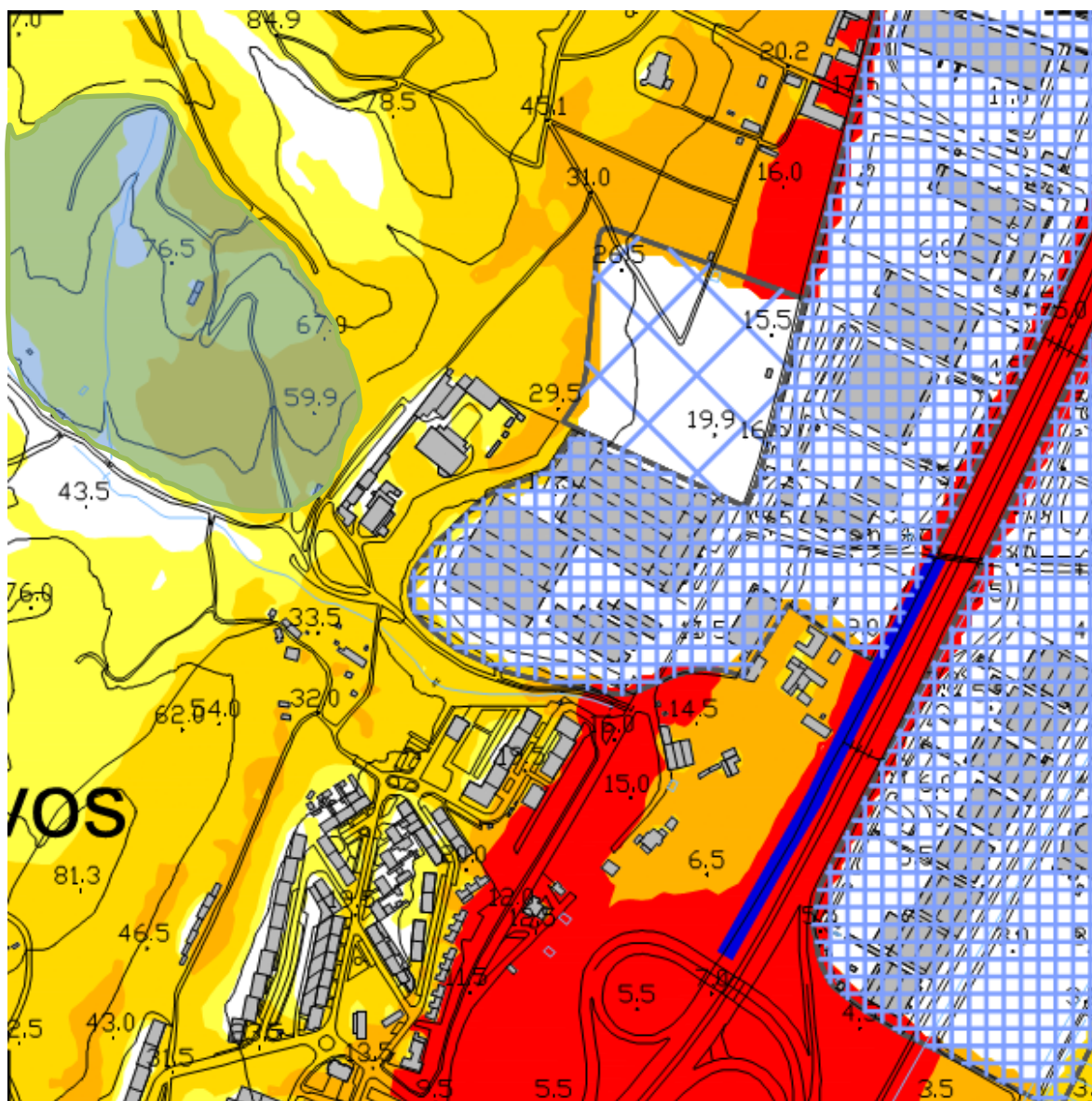


Figura 25 Ampliação do Mapa de ruído, com a localização do hospital, L_n (13)

ESCALA DE CORES



$L_n \leq 45 \text{ dB(A)}$



$45 \text{ dB(A)} < L_n \leq 50 \text{ dB(A)}$



$50 \text{ dB(A)} < L_n \leq 55 \text{ dB(A)}$



$55 \text{ dB(A)} < L_n \leq 60 \text{ dB(A)}$



$L_n > 60 \text{ dB(A)}$

Figura 26 Escala de cores, L_n (13)

Dos mapas acima indicados é possível verificar que a localização do hospital se situa numa zona onde:

L_{den} varia entre valores inferiores a 55dB(A) até 65dB(A)

L_n varia entre valores inferiores a 45dB(A) até 55dB(A)

O que a partida significa que a zona onde o hospital viria a ser instalado seria uma zona mista, pois ultrapassa os limites legais de zona sensível. No entanto, em termos do Regulamento Geral de Ruído, hospitais são zona sensível.

4.2.1.1. Localização dos pontos de medição

Os pontos de medição foram seleccionados em conjunto com o Dono de Obra de forma a caracterizarem a envolvente do hospital.

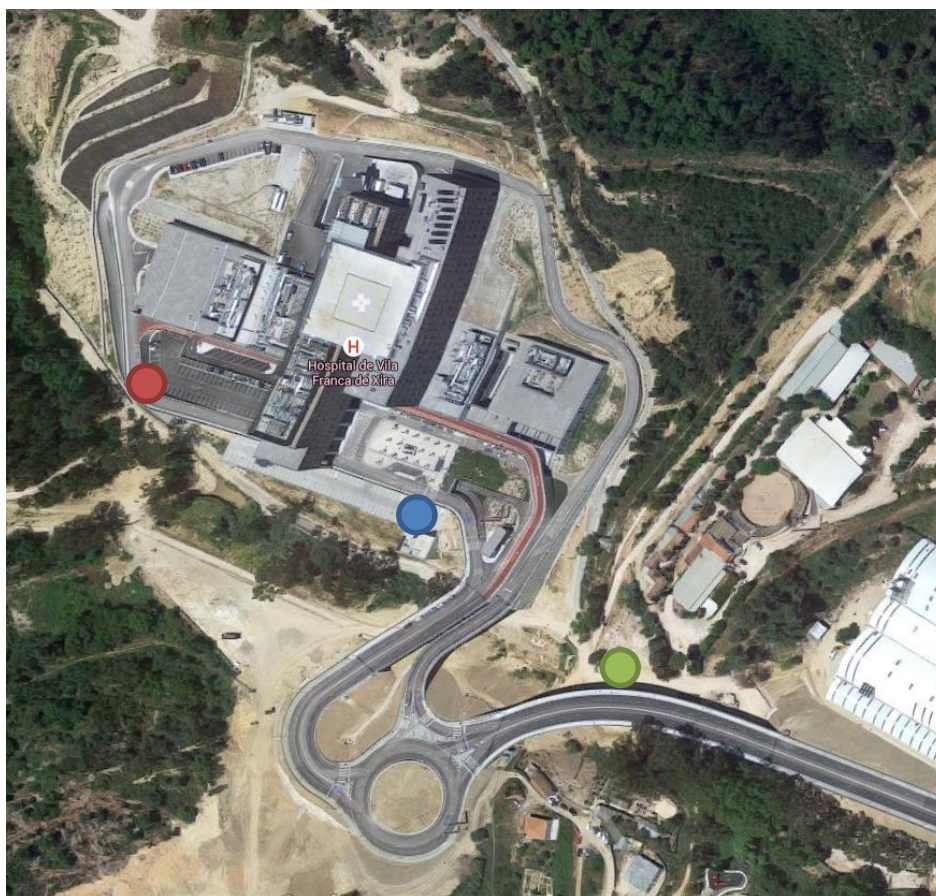





Figura 27 Visão geral do hospital e da sua envolvente

Tabela 35 Localização dos pontos de medição para som total

Ponto		Recetor	Som mais audível	Distancia ao emissor, d (m)
	1	Centro Equestre	Ventiladores no topo do Hospital	120
	2	Oeste do Hospital	Ventiladores no topo do Hospital	65
	3	Sul do Hospital	Chiller na casa das máquinas	65

4.2.2. Resultados das medições

4.2.2.1. Medições do nível sonoro médio de longa duração, L_{den}

Analogamente ao apresentado no ponto 4.1, seguem abaixo as tabelas de dados obtidos em relação aos três pontos medidos, em duas campanhas de medição, durante os três períodos de referência, assim como os dados climatérios.

4.2.2.1.1. Ponto 1

Tabela 36 Dados das medições – Ponto 1 – 1ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	18/11/2013	16:04	18/11/2013	16:19
	18/11/2013	16:20	18/11/2013	16:35
	18/11/2013	16:36	18/11/2013	16:56
Entardecer Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	18/11/2013	20:01	18/11/2013	20:17
	18/11/2013	20:18	18/11/2013	20:33
	18/11/2013	20:33	18/11/2013	20:48
Noturno Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel.	18/11/2013	23:33	18/11/2013	23:48
	18/11/2013	23:49	19/11/2013	0:04
	19/11/2013	0:04	19/11/2013	0:20


Tabela 37 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 1

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	1	48.2				48.3				49.5			
		47.8				47.2				49.3			
		49.4				47.8				49.1			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		25	4	120	1.46	25	4	120	0.7	25	4	120	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		48.5				47.8				49.3			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)		HR (%)						
Diurno	1.37		S		16º Sol		65%						
	1.26		S		16º Sol		65%						
	1.30		S		15º Sol		62%						
Entardecer	0.82		S		11º Céu limpo		62%						
	0.85		S		11º Céu limpo		61%						
	0.48		S		10º Céu limpo		60%						
Noturno	0.21		S		9º Céu limpo		62%						
	0.50		S		8º Céu limpo		62%						
	0.34		S		8º Céu limpo		60%						

Tabela 38 – Dados das medições – Ponto 1 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	20/11/2013	17:50	20/11/2013	18:00
	20/11/2013	18:00	20/11/2013	18:10
	20/11/2013	18:10	20/11/2013	18:22
Entardecer Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	20/11/2013	20:01	20/11/2013	20:11
	20/11/2013	20:12	20/11/2013	20:22
	20/11/2013	20:23	20/11/2013	20:35
Noturno Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel.	20/11/2013	23:50	21/11/2013	0:00
	21/11/2013	0:02	21/11/2013	0:12
	21/11/2013	0:13	21/11/2013	0:24

Tabela 39 Resultado das medições no Ponto 1 – Campanha 2

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	2	46.2				45.7				46.3			
		47.1				45.8				45.8			
		47.1				46.1				45.9			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		25	4	120	1.46	25	4	120	0.7	25	4	120	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		46.8				45.9				46.0			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)		HR (%)						
Diurno	1.38		S		15º Sol		65%						
	1.23		S		15º Sol		64%						
	1.24		S		15º Sol		65%						
Entardecer	0.85		S		12º Céu limpo		65%						
	0.82		S		11º Céu limpo		65%						
	0.50		S		11º Céu limpo		63%						
Noturno	0.21		S		9º Céu limpo		62%						
	0.53		S		9º Céu limpo		65%						
	0.34		S		7º Céu limpo		64%						

4.2.2.1.2. Conformidade

Calculando a média logarítmica das medições:

$$L_{med,per.} = 10 \log \frac{1}{3} \left(10^{L_{per,1}/10} + 10^{L_{per,2}/10} + 10^{L_{per,3}/10} \right) \quad (4.12)$$

Posteriormente deve ser efetuado um cálculo análogo para a média logarítmica das duas campanhas de medição

$$L_{med,campanhas} = 10 \log \frac{1}{2} \left(10^{L_{campanha\ 1}/10} + 10^{L_{campanha\ 2}/10} \right) \quad (4.13)$$

Obtém-se os parciais, L_d ; L_e e L_n , para se efetuar o cálculo do L_{den}

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (4.14)$$

Tabela 40 Comparação dos resultados aos limites legais

L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	Indicador	Valor obtido	Valor limite por zona, dB(A)		
					Mista	Sensível	Não classificada
48	48	48	L_{den} dB(A)	55	65	55	63
			L_n dB(A)	49	55	45	53

Sendo um hospital uma zona sensível, o ponto 1, não cumpriria os limites legais para o período noturno, cumprindo se a zona fosse considerada mista ou não classificada.

4.2.2.1.3. Ponto 2

Tabela 41 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	18/11/2013	17:06	18/11/2013	17:27
	18/11/2013	17:27	18/11/2013	17:47
	18/11/2013	17:47	18/11/2013	18:05
Entardecer Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	18/11/2013	20:52	18/11/2013	21:09
	18/11/2013	21:09	18/11/2013	21:25
	18/11/2013	21:26	18/11/2013	21:45
Noturno Fontes sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel.	19/11/2013	0:27	19/11/2013	0:45
	19/11/2013	1:09	19/11/2013	1:20
	19/11/2013	1:20	19/11/2013	1:31

Tabela 42 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 1

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	1	51.8				49.4				48.2			
		51.7				49.1				47.3			
		52.1				49.5				45.6			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		15	1.5	65	1.46	15	1.5	65	0.7	15	1.5	65	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		51.9				49.3				47.1			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	1.80		SE		14º Sol				74%				
	1.30		SE		14º Sol				71%				
	1.30		SE		13º Sol				69%				
Entardecer	0.82		SE		11º Céu limpo				68%				
	0.85		SE		10º Céu limpo				71%				
	0.48		SE		10º Céu limpo				72%				
Noturno	0.21		SE		8º Céu limpo				69%				
	0.50		SE		8º Céu limpo				68%				
	0.34		SE		7º Céu limpo				68%				

Tabela 43 Dados das medições – Ponto 2 – 2ª Campanha

Local das Medições		Horário das medições		
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	20/11/2013	16:15	20/11/2013	16:29
	20/11/2013	16:29	20/11/2013	16:44
	20/11/2013	16:44	20/11/2013	16:56
Entardecer Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	21/11/2013	20:53	21/11/2013	21:06
	21/11/2013	21:09	21/11/2013	21:23
	21/11/2013	21:23	21/11/2013	21:36
Noturno Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel.	21/11/2013	0:42	21/11/2013	0:52
	21/11/2013	0:53	21/11/2013	1:05
	21/11/2013	1:05	21/11/2013	1:17

Tabela 44 Resultado das medições no Ponto 2 – Campanha 2

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	2	52.8				49.5				48.5			
		52.9				50.2				49.0			
		51.1				49.4				48.8			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		15	1.5	65	1.46	15	1.5	65	0.7	15	1.5	65	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		52.4				49.7				48.8			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	1.22		SE		14º Céu Limpo				65%				
	1.23		SE		13º Céu Limpo				64%				
	1.12		SE		13º Céu Limpo				65%				
Entardecer	1.18		SE		11º Céu limpo				65%				
	1.22		SE		10º Céu limpo				65%				
	1.15		SE		10º Céu limpo				63%				
Noturno	0.80		SE		7º Céu limpo				62%				
	0.52		SE		7º Céu limpo				65%				
	0.74		SE		7º Céu limpo				64%				

4.2.2.1.4. Conformidade

Calculando a média logarítmica das medições:

$$L_{med,per.} = 10 \log \frac{1}{3} \left(10^{L_{per,1}/10} + 10^{L_{per,2}/10} + 10^{L_{per,3}/10} \right) \quad (4.15)$$

Posteriormente deve ser efetuado um cálculo análogo para a média logarítmica das duas campanhas de medição

$$L_{med,campanhas} = 10 \log \frac{1}{2} \left(10^{L_{campanha\ 1}/10} + 10^{L_{campanha\ 2}/10} \right) \quad (4.16)$$

Obtém-se os parciais, L_d ; L_e e L_n , para se efetuar o cálculo do L_{den}

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (4.17)$$

Tabela 45 Comparação dos resultados aos limites legais

L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	Indicador	Valor obtido	Valor limite por zona, dB(A)		
					Mista	Sensível	Não classificada
51	45	49	L_{den} dB(A)	56	65	55	63
			L_n dB(A)	49	55	45	53

Sendo um hospital uma zona sensível, o ponto 2, não cumpriria os limites legais, cumprindo se a zona fosse considerada mista ou não classificada.

4.2.2.1.5. Ponto 3

Tabela 46 Dados das medições – Ponto 3 – 1ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	18/11/2013	18:19	18/11/2013	18:34
	18/11/2013	18:34	18/11/2013	18:49
	18/11/2013	18:50	18/11/2013	19:05
Entardecer Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	18/11/2013	21:54	18/11/2013	22:09
	18/11/2013	22:10	18/11/2013	22:25
	18/11/2013	22:25	18/11/2013	22:40
Noturno Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel.	19/11/2013	1:42	19/11/2013	1:57
	19/11/2013	1:57	19/11/2013	2:12
	19/11/2013	2:13	19/11/2013	2:28

Tabela 47 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 1

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	1	50.8				49.3				48.5			
		50.9				48.9				48.4			
		51.1				48.9				48.4			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		11	1.5	65	1.46	11	1.5	65	0.7	11	1.5	65	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		50.9				49.0				48.4			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.18		W		13º Céu limpo				75%				
	0.17		W		13º Céu limpo				74%				
	0.16		W		12º Céu limpo				75%				
Entardecer	0.21		W		10º Céu limpo				73%				
	0.26		W		10º Céu limpo				73%				
	0.24		W		9º Céu limpo				72%				
Noturno	0.10		W		7º Céu limpo				65%				
	0.13		W		7º Céu limpo				62%				
	0.11		W		6º Céu limpo				62%				

Tabela 48 – Dados das medições – Ponto 3 – 2ª Campanha

Local das Medições				
Horário das medições				
Período de referência	Data de início	Hora de início	Data de Fim	Hora de Fim
Diurno Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	20/11/2013	17:09	20/11/2013	17:19
	20/11/2013	17:19	20/11/2013	17:29
	20/11/2013	17:29	20/11/2013	17:41
Entardecer Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel, pessoas a conversar e animais.	21/11/2013	21:56	21/11/2013	22:06
	21/11/2013	22:16	21/11/2013	22:27
	21/11/2013	22:28	21/11/2013	22:38
Noturno Fontes Sonoras: Ventiladores nas coberturas, tráfego automóvel.	21/11/2013	1:32	21/11/2013	1:43
	21/11/2013	1:43	21/11/2013	1:53
	21/11/2013	1:53	21/11/2013	2:03

Tabela 49 Resultado das medições no Ponto 3 – Campanha 2

Local	Campanha	Período Diurno				Período Entardecer				Período Noturno			
		L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} dB(A)				L _{Aeq} , dB(A)			
	2	51.5				49.5				48.6			
		51.5				49.0				48.3			
		51.9				48.7				48.8			
		H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)	H _s (m)	H _r (m)	D _p (m)	C ₀ (dB)
		11	1.5	65	1.46	11	1.5	65	0.7	11	1.5	65	0
		C _{met} (dB)				C _{met} (dB)				C _{met} (dB)			
		0				0				0			
		L _d dB(A)				L _e dB(A)				L _n dB(A)			
		51.6				49.1				48.6			
Período	W (m/s)		Direção do vento		Temp (°C)				HR (%)				
Diurno	0.35		W		13º Céu Limpo				65%				
	0.45		W		13º Céu Limpo				64%				
	0.42		W		12º Céu Limpo				65%				
Entardecer	0.50		W		10º Céu limpo				65%				
	0.49		W		9º Céu limpo				65%				
	0.21		W		9º Céu limpo				63%				
Noturno	0.10		W		7º Céu limpo				62%				
	0.15		W		6º Céu limpo				65%				
	0.12		W		6º Céu limpo				64%				

4.2.2.1.6. Conformidade

Calculando a média logarítmica das medições:

$$L_{med,per.} = 10 \log \frac{1}{3} \left(10^{L_{per,1}/10} + 10^{L_{per,2}/10} + 10^{L_{per,3}/10} \right) \quad (4.18)$$

Posteriormente deve ser efetuado um cálculo análogo para a média logarítmica das duas campanhas de medição

$$L_{med,campanhas} = 10 \log \frac{1}{2} \left(10^{L_{campanha\ 1}/10} + 10^{L_{campanha\ 2}/10} \right) \quad (4.19)$$

Obtém-se os parciais, L_d ; L_e e L_n , para se efetuar o cálculo do L_{den}

$$L_{den} = 10 \times \log \left(\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right) \quad (4.20)$$

Tabela 50 Comparação dos resultados aos limites legais

L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	Indicador	Valor obtido	Valor limite por zona, dB(A)		
					Mista	Sensível	Não classificada
51	50	49	L_{den} dB(A)	56	65	55	63
			L_n dB(A)	49	55	45	53

Sendo um hospital uma zona sensível, o ponto 3, não cumpriria os limites legais, cumprindo se a zona fosse considerada mista ou não classificada.

4.3. Análise de Resultados

Os resultados obtidos nos pontos 4.1.2 e 4.2.2, são claros quanto aos níveis sonoros médios de longa duração obtidos nas envolventes dos hospitais. Os indicadores L_{den} de L_n de ambos os hospitais, estão acima dos limites regulamentares para zonas sensíveis.

Devido à obrigatoriedade legal, imposta pelo Regulamento Geral de Ruído, em que todos hospitais devem ser considerados como zonas sensíveis, estes dois exemplos encontram-se em inconformidade legal.

Em ambos os casos, maioritariamente o ruído era provocado pelos ventiladores existentes nos hospitais, sendo que a influência do tráfego também perturbava o resultado obtido no Hospital de Vila Franca de Xira.

Como o nível sonoro médio de longa duração, diz respeito à localização dos hospitais e não à atividade que opera no local, ou seja de forma simplista, este avalia a envolvente e não atividade, na escolha do local onde será implantado o hospital deve sempre ter-se em conta o ruído presente antes da implantação e o ruído após a implantação do mesmo.

Como justificativo das situações ocorridas, fora apresentadas soluções aos donos de obra de cada um dos hospitais:

No Novo Hospital de Braga, foram apresentadas soluções corretivas, ao nível das ventilações, de acordo com o ponto 4.4.1. Sendo que o ponto 3, medição de *chillers*, não foi alterado, pois encontrava-se dentro do hospital longe de fontes sonoras.

No caso do Novo Hospital de Vila Franca de Xira, foi apresentada uma justificação, em que se expunha que a localização do hospital já estava acima do limite, antes da implantação do mesmo. Assim sendo, este nunca poderia cumprir os limites para zona sensível, a não ser que a câmara municipal implementasse medidas corretivas de ruído em toda a envolvente deste.

4.4. Medidas Mitigadoras de ruído

O ruído provocado pelas máquinas de ventilação presentes nos hospitais deve ser combatido com um conjunto de medidas mitigadoras que têm como função diminuir o máximo possível o ruído emitido por estas.

Destacam-se abaixo algumas soluções tipo, que poderiam ser implementadas nestes casos em específicos, de forma a controlar o ruído emitido pela fonte.

4.4.1. Medidas preventivas de redução de ruído

O primeiro passo em termos da redução de ruído, passa pela escolha dos equipamentos e a forma como estes estão em funcionamento. A escolha de

equipamentos que consigam trabalhar com caudais maiores sem que estejam em sobre esforço, ou próxima das capacidades máximas, permite que seja reduzida a potência de funcionamento do ventilador.

A solução apresentada para o Hospital de Braga, passou pela redução da potência do equipamento, e redução do horário do mesmo. Desta forma, foi possível baixar o ruído emitido pelo equipamento nos horários em que este estaria acima do valor legal, como é possível verificar nos resultados resumidos abaixo

4.4.1.1.1. Ponto 1

Tabela 51 Resultados do Ponto 1

Data de novas medições	L _d [dB(A)] (inicial)	L _e [dB(A)] (med. nova)	L _n [dB(A)] (med. nova)	L _{den} [dB(A)]	Conformidade
27/02/2012	53.0	46.0	44.2	53	Conforme

4.4.1.1.2. Ponto 2

Tabela 52 Resultados do Ponto 2

Data de novas medições	L _d [dB(A)] (inicial)	L _e [dB(A)] (med. nova)	L _n [dB(A)] (med. nova)	L _{den} [dB(A)]	Conformidade
27/02/2012	54.0	43.9	42.8	54	Conforme

4.4.2. Canópias acústicas

O melhor método para a obtenção de elevados níveis de isolamento acústico, consiste em criar canópias acústicas.

As características isolantes destas resulta de uma combinação dos elementos a isolar, a correta vedação das zonas de contorno destes e a eliminação de ressonância das canópias criadas.

Neste contexto, as canópias acústicas são constituídas por painéis acústicos com elevada capacidade de isolamento acústico, para que estes isolem as frequências emitidas pelas fontes sonoras condicionantes.

As canópias acústicas, como serão aplicados no exterior, devem ser pensadas como tal, ou seja, os painéis devem ter acabamentos resistentes à corrosão e intempéries. O acesso a estas deve ser efetuado por portas acústicas, devidamente dimensionadas, para que estas não sejam locais onde exista um enfraquecimento do ponto de vista do isolamento acústico.

O grande desafio da utilização de canópias será a circulação de ar no seu interior, pois como se trata de isolamento de máquinas que necessitam de ventilação, devem ser dimensionados atenuadores acústicos para o caudal de ar em causa e para a atenuação pretendida.



Figura 28 Canópia Acústica para geradores (14)



Figura 29 Canópia acústica para geradores (14)

Tabela 53 Soluções comerciais de Canópias Acústicas (14)

Tipo	Isolamento acústico R_w	Aplicações
Canópia Acústica com estrutura em aço ou PVC revestida com painéis acústicos	20 a 25 dB(A)	<i>Chillers</i> , condensadores, AVAC, evaporadores, outros
Canópia Acústica com estrutura em aço ou PVC revestida com painéis acústicos de espessura elevada	25 a 40 dB(A)	<i>Chillers</i> , condensadores, AVAC, evaporadores, geradores, compressores, motores diesel, transformadores, outros
Canópia Acústica com estrutura em aço ou PVC revestida com painéis acústicos de materiais diversos interpostos	>40dB(A)	Geradores, compressores, motores diesel e transformadores

4.4.3. Atenuadores Acústicos

Os atenuadores acústicos, dependendo do equipamento, podem ser utilizados diretamente no equipamento, ou em conjunto com uma canópia acústica.

Os atenuadores sonoros destinam-se a permitir a passagem de ar através de aberturas nas envolventes de um compartimento sem que se transmita ruído para o exterior. O dimensionamento destes dispositivos é conseguido através do equilíbrio entre diversos parâmetros, nomeadamente: secção bruta; caudal de ar a movimentar; perda de carga estática e atenuação sonora.

Estes são construídos em aço galvanizado enclausurando placas de material fonoabsorvente com elevado coeficiente de absorção sonora para evitar a desagregação mesmo para elevados caudais.

Apesar da grande variedade, os atenuadores sonoros podem ser agrupados em três categorias fundamentais: Atenuadores Dissipativos; Atenuadores Reativos; Atenuadores Combinados (reativo e dissipativo). (14)

4.4.3.1. Atenuadores Dissipativos

O Atenuador Dissipativo, mais eficaz nas médias e altas frequências, é aplicado na entrada e/ou saída de ar de ventiladores, exaustores, e na admissão/extração de ar de motores de combustão, entre outras aplicações. O atenuador é revestido, no seu interior, por material isolante sonoro, atenuando o ruído pela transformação de energia sonora em calor produzido pela propagação das ondas sonoras no revestimento acústico. (14)

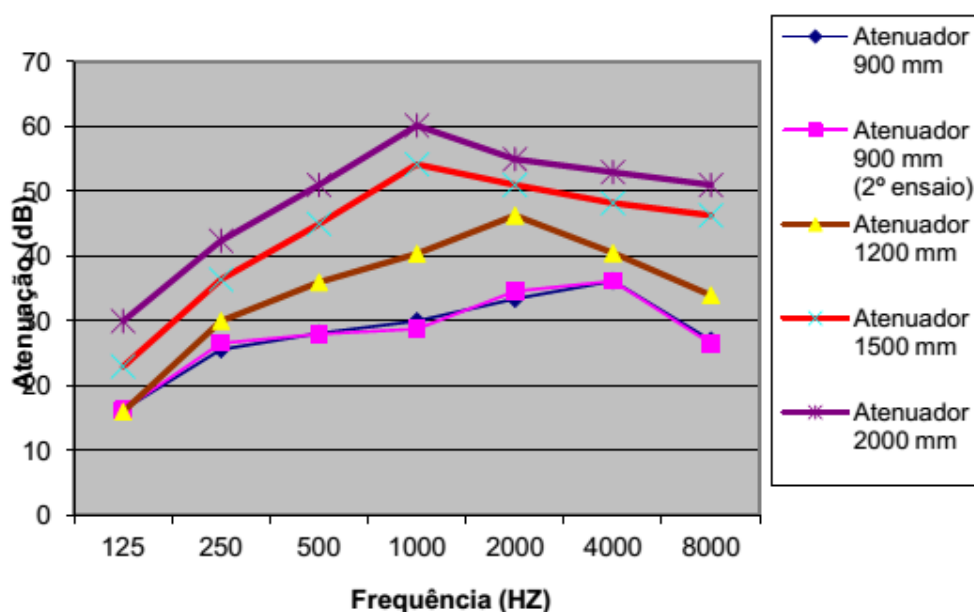


Figura 30 Atenuação, por frequência, em relação ao comprimento do atenuador (14)



Figura 31 Atenuadores dissipativos (14)

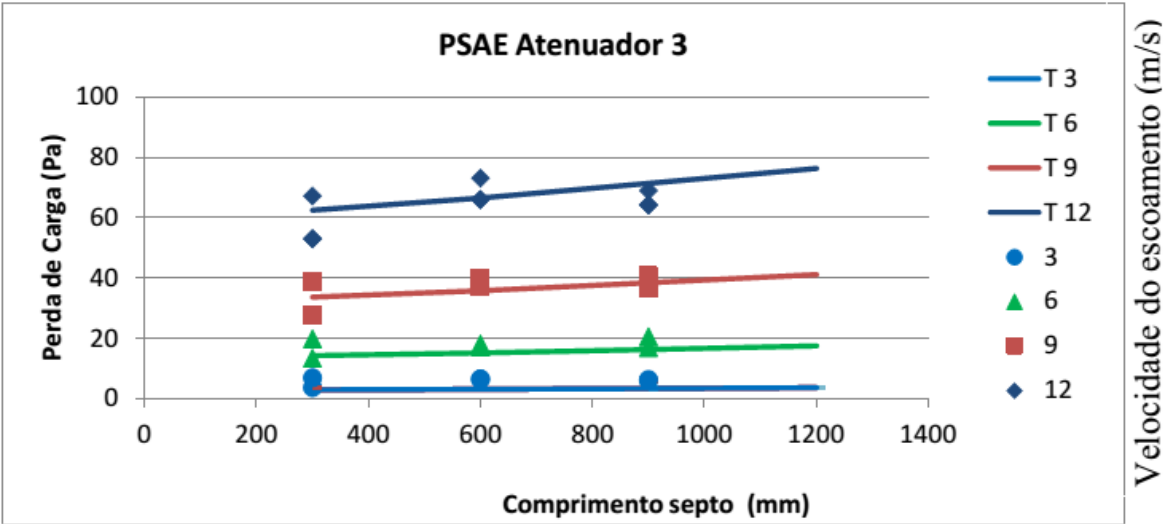


Figura 32 Perda de Carga para Atenuadores (tipo Pronoise PSAE) (14)

4.4.3.2. Atenuadores Reativos

O Atenuador Reativo é utilizado para atenuação de baixas frequências, sendo recomendado na exaustão de motores de combustão interna. As descontinuidades existentes no seu interior provocam múltiplas reflexões das ondas sonoras, entre as câmaras internas e o material absorvente que compõem o atenuador. Neste processo, a energia sonora é dissipada devido às múltiplas reflexões, e pela absorção da própria fonte. As dimensões do atenuador são definidas consoante a atenuação pretendida e as frequências a atenuar. (14)



Figura 33 Atenuador reativo (14)

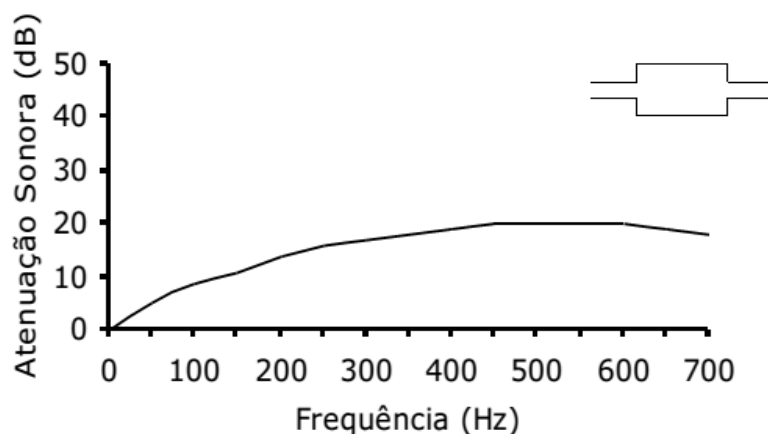


Figura 34 Atenuação sonora em atenuador reativo com camara de 150mm de comprimento

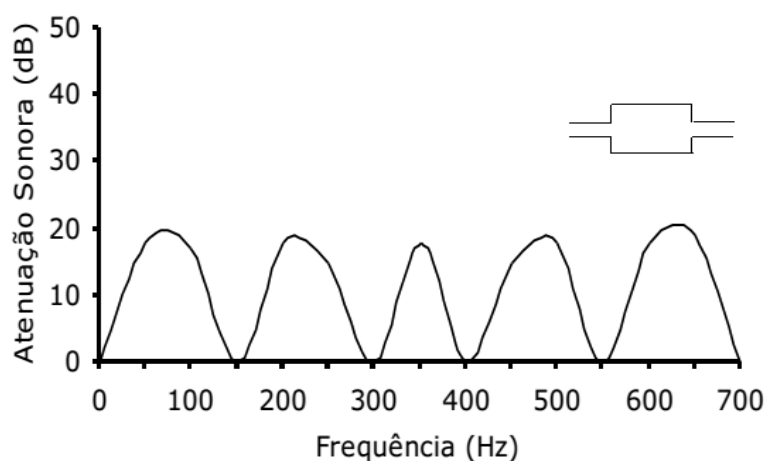


Figura 35 Atenuação sonora em atenuador reativo com câmara de 1200mm de comprimento (14)

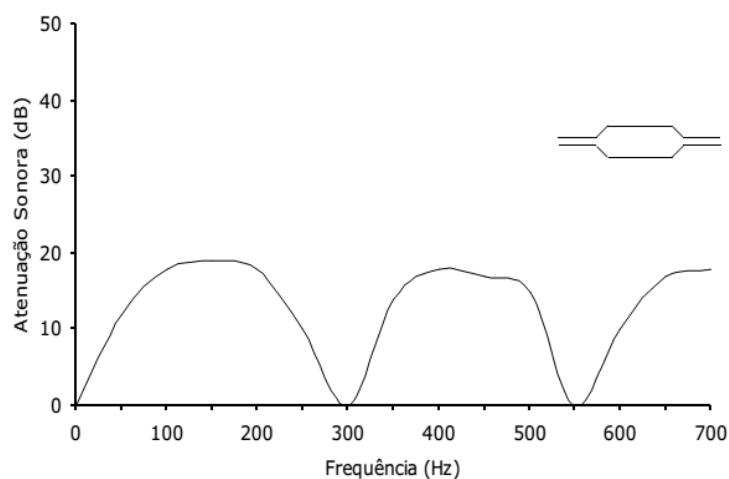


Figura 36 atenuação sonora em função da inclinação das paredes internas do atenuador (14)

4.4.3.3. Atenuadores Combinado

O Atenuador Combinado concilia elementos reativos e dissipativos, com o objetivo de cobrir um maior leque de frequências. (14)

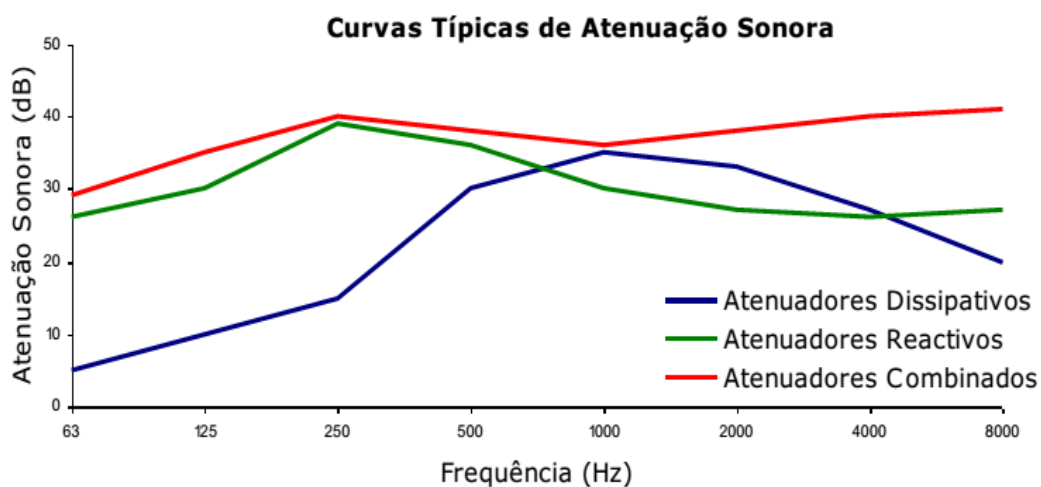


Figura 37 Curvas típicas de atenuação sonora dependente do tipo de atenuador (14)

4.4.4. Grelhas acústicas

As grelhas acústicas destinam-se a permitir a admissão e extração de ar com atenuação do nível sonoro, acumulando assim, a dupla função de proteção exterior contra a intempérie e de atenuador acústico. As grelhas são utilizadas, tipicamente, quando os requisitos de atenuação sonora não são muito elevados e quando existem limitações de espaço para instalação. (14)



Figura 38 Grelha acústica (14)

Estas são constituídas por chapa de aço, inox ou alumínio em que as faces superiores das lâminas são em chapa contínua, e as inferiores em placas fonoabsorventes.

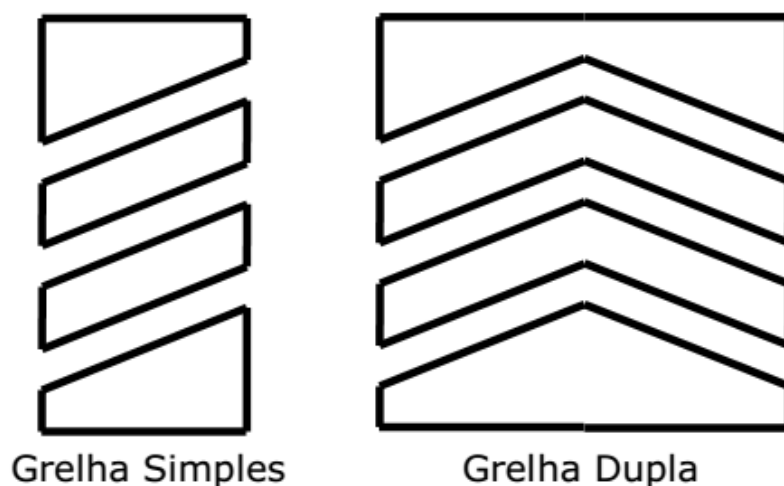


Figura 39 Desenho interior das grelhas. (14)

A escolha do tipo de grelha é afetada quer pela atenuação sonora desejada, quer pelo caudal de ar necessário para o correto funcionamento das máquinas afetadas pelas grelhas.

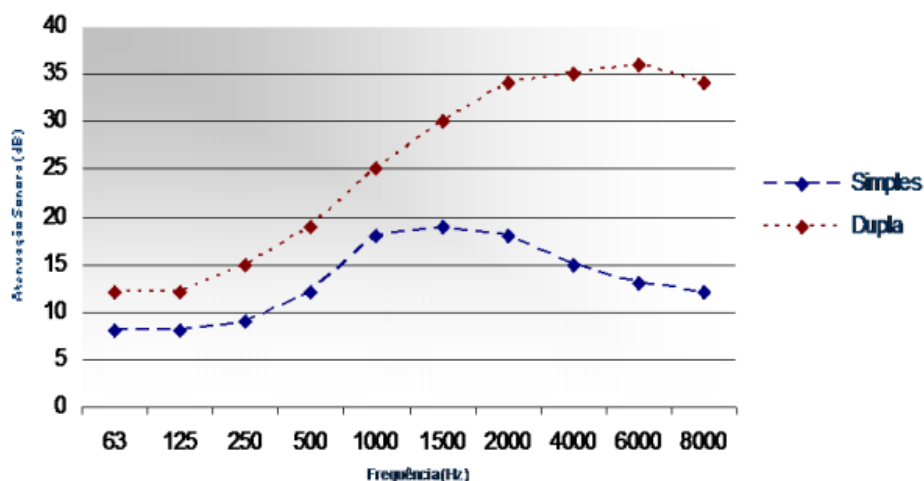


Figura 40 Atenuação sonora de grelhas acústicas (14)

Para o cálculo da perda de carga (Pa) referente a utilização de grelhas, é necessário calcular a velocidade do ar.

$$V_{ar} = \frac{Q(m^3/h)}{3600(s) \times B(m) \times H(m)} \quad (5.1)$$

Em que:

Q – Caudal de funcionamento

B – Largura da grelha

H – Altura da grelha

Após o cálculo da velocidade do ar, será possível calcular a perda de carga.

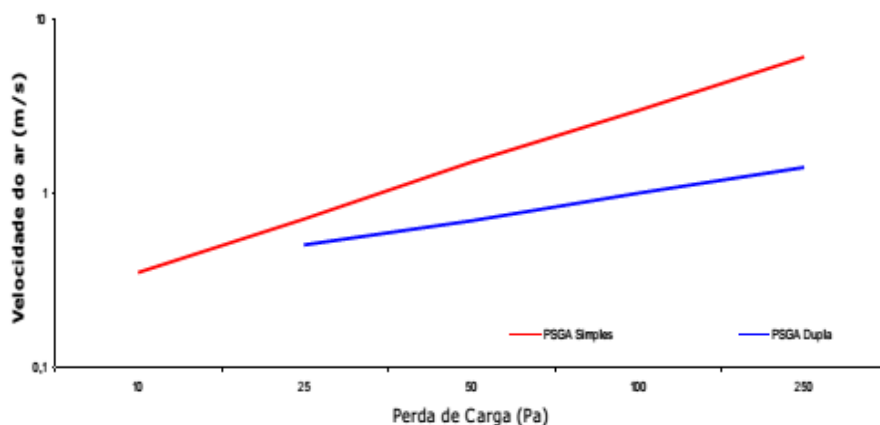


Figura 41 Perda de carga (Pa) (14)

4.4.5. Barreiras Acústicas

As barreiras acústicas são elementos ou sistemas construtivos colocados entre uma fonte sonora e um recetor de forma a reduzir o ruído recebido no auditor. Em geral são colocadas junto a vias de tráfego rodoviário ou ferroviário intenso ou na envolvente de equipamentos ruidosos. Se a barreira é sólida e construída com um mínimo de massa superficial então a transmissão de ruído através da barreira será reduzido se comparada com o ruído emitido. (1)

A eficácia da barreira depende do aumento do percurso das ondas sonoras relativamente à distância mais curta entre emissor e recetor com os seguintes pressupostos:

Quanto maior a altura da barreira maior será a atenuação sonora;

Quanto menor for o conteúdo da energia sonora em baixa frequência maior será a eficácia da barreira;

A energia que “atravessa” a barreira, por uma questão de eficácia, deverá ser muito menor que a de contorno (difração, desvio que sofrem as ondas sonoras quando passam nos bordos de um obstáculo sendo maior ou menor dependendo do comprimento de onda.) pelo que, na prática, a massa superficial da barreira deverá ser $M \geq 20 \text{ Kg/m}^2$; Deverá acautelar-se o efeito das superfícies refletoras situadas nas proximidades para evitar transmissões sonoras por reflexão.

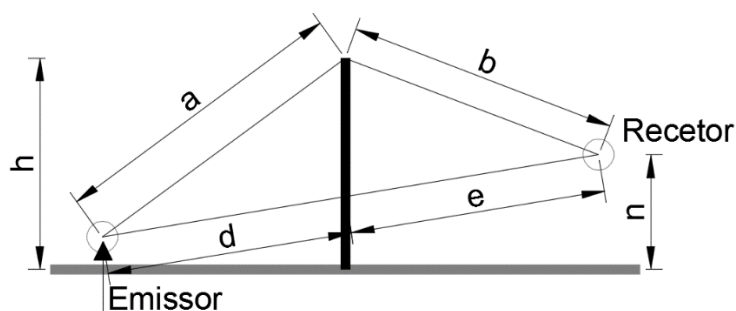


Figura 42 Percursos do campo sonoro (14)

É possível calcular a atenuação através da seguinte expressão:

$$\Delta L_{db} = 10 \log \frac{20}{\lambda} (a + b - c) \quad (5.2)$$

Em que:

λ – é o comprimento de onda, c/f , c , é a velocidade do som no vácuo e f é a frequência em Hz.

$$c = d + e \text{ (m)}$$

Capítulo 5 – Conclusões

As medições executadas para o desenvolvimento do presente documento, permitiram avaliar o nível de pressão sonora do ruído ambiente dos dois casos de estudo.

Foram atingidos os objetivos propostos para a elaboração deste documento:

- Efetuado um breve enquadramento histórico, assim como conceitos de acústica, em especial a propagação de som;
- Apresentada a metodologia de medições acústicas, no que concerne a níveis de pressão sonora de longa exposição do ruído ambiente de hospitais;
- Determinação da conformidade regulamentar dos hospitais, em relação à sua inserção em zonas sensíveis; após apresentação dos resultados obtidos;
- Apresentação de medidas mitigadoras de ruído, e resultado da sua aplicação.

A medição do nível sonoro médio de longa duração é uma ferramenta de grande importância para a correta implantação de edificações, sejam elas moradias, hospitais, indústrias, vias de comunicação entre outras.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que os hospitais estavam inseridos em zonas que não cumpriam os limites regulamentares para zonas sensíveis.

A localização de um edifício, como um hospital, numa zona que não seja sensível acarreta problemas, não só do ponto de vista do ruído que é emitido por este para as edificações vizinhas, mas também de custos na insonorização do hospital.

Nos casos de estudos presentes neste documento, foi possível verificar que a escolha dos locais e a instalação de máquinas que provocam ruídos elevados, provocando o incumprimento da lei.

Esta não conformidade regulamentar gera preocupação pois envolve o condicionamento acústico da vizinhança dos hospitais, da população em geral que se desloca perto destes.

Os maiores promotores de ruído eram os ventiladores, colocados em pontos altos, pois permitiam a propagação do som de forma livre.

A utilização de ventiladores em potências elevadas, em locais de livre propagação de som, resulta em níveis sonoros elevados. A solução proposta no caso do Novo Hospital de Braga passou por reduzir a potência de funcionamento dos equipamentos e o horário de funcionamento dos mesmos, diminuindo o ruído emitido por estes. A medida verificou-se positiva, pois os resultados de medição permitiram verificar que já este já cumpriria os valores regulamentares.

No Novo Hospital de Vila Franca de Xira, foi apresentada uma justificação onde era descrito que antes de ser construído o hospital, o local já não cumpria os limites regulamentares. Neste caso não foram adotadas medidas mitigadoras.

Foram apresentadas diversas medidas mitigadoras de ruído que podem ser utilizadas dependendo do tipo de ruído, equipamento e atividade que esteja a funcionar.

5.1. Desenvolvimentos futuros

A sequência natural deste projeto seria executar as medições novamente, recolhendo dados que possam confirmar as conclusões obtidas, acrescentando mais pontos de medição, patamares diferentes.

Se possível, efetuar medições no interior dos hospitais de forma a verificar a influência dos equipamentos no ruído interior.

A metodologia de medição, como se trata de uma amostragem, depende sempre da amostra, logo, a medição idealmente deveria ser executada ao longo de grandes períodos de tempo, de forma a poder acautelar potenciais fenómenos de sazonalidade, picos de utilização dos equipamentos, e outras situações não previstas.

De futuro, seria importante rever, ou estudar uma alternativa na legislação, no ponto em que define liminarmente hospitais como zonas sensíveis. Sendo de admitir que todos as zonas sejam sensíveis, deve existir uma indicação na legislação que permita que os hospitais, ao serem inseridos numa zona previamente mista, ou que o ruído específico do hospital a torne numa zona mista, não estejam em incumprimento legal.

Bibliografia

1. de Carvalho, A.P. Oliveira. *Acústica Ambiental e de Edifícios. 8.0. Porto : FEUP, 2011.*
2. ISO 226 - *Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours.* s.l. : International Organization for Standardization, 2003.
3. Patrício, Jorge. *Acústica de Edifícios.* s.l. : Verlag Dashöfer, 2008.
4. NP ISO 1996-2 – Acústica, Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente, Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente. s.l. : International Organization for Standardization, 2011.
5. IMAGINE. *IMA32TR-040510-SP08, Determination of Lden and Lnight using measurements.* 11 de Janeiro 2006.
6. Agência Portuguesa do Ambiente. *Guia APA 22 - Guia prático para medições de ruído ambiente no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996.* Outubro de 2011.
7. Setra. *Guide méthodologique - Prévision du bruit routier - Tome 2 - Méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques.* Maio 2009.
8. IEC 61672-1 -*Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications.* s.l. : International Organization for Standardization, 2013.
9. IPAC. OEC013. *Requisitos Específicos de Acreditação - Laboratórios de Ensaios de Acústica e Vibrações.* 2014.
10. IPQ. *Guia de Vocabulário de Metrologia.* s.l. : IPQ, 2008.
11. Google Maps. [Online] Google. maps.google.com.
12. SMAR Braga / AGERE. *Ambiente - Mapas de Longo Termo.* [Online] <http://www.smarbraga.com/AmbienteLongoTermo.aspx>.
13. Câmara Municipal de Vila Franca de Xira. *Mapas de Ruído.* [Online] <http://www.cm-vfxira.pt/pages/938>.

14. Pronoise. Pronoise - Soluções de acústica. *www.pronorma.pt*. [Online]
15. ISO/TR 17534-3 - *Acoustics -- Software for the calculation of sound outdoors - Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1*. s.l. : International Organization for Standardization, 2015.
16. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Decreto-Lei 76/2002. *Regulamento das Emissões Sonoras para o Ambiente de Equipamento para Utilização no Exterior*. s.l. : Diário da República, 1ª Série-A - Nº 72 - 26 de Março de 2002.
17. Ministério da Administração Interna. Decreto-Lei 297/99. *Declaração de Alarme Sonoro*. s.l. : Diário da República, 1ª Série-A - Nº 180 - 4 de Agosto de 1999.
18. Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional. Decreto-Lei, 9/2007. *Regulamento Geral de Ruído*. s.l. : Diário da República, 1ª Série - Nº 12 - 17 de Janeiro de 2007.
19. —. Decreto-Lei 96/2008. *Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios*. s.l. : Diário da República, 1ª Série - Nº 110 - 9 de Junho de 2008.
20. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Decreto-Lei 310/2002. *Licenciamento de atividades diversas pelas Câmaras Municipais*. s.l. : Diário da República - 1ª Série-A - Nº292 - 18 de Dezembro de 2002.
21. Ministério da Indústria e Energia. Decreto-Lei 291/90. *Controlo metrológico de equipamentos*. s.l. : Diário da República - 1ª Série - Nº218 - 20 de Setembro de 1990.
22. —. Portaria 978/2009. *Controlo metrológico dos métodos e instrumentos de medição*. s.l. : Diário da República - 1ªSérie - Nº169 - 1 de Setembro de 2009.
23. NP ISO 1996-1 – Acústica, Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente, Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação. s.l. : International Organization for Standardization, 2011.

24. IEC 61672-2 - *Electroacoustics - Sound level meters - Part 2: Pattern evaluation tests*. s.l. : International Organization for Standardization, 2013.
25. Sociedade Portuguesa de Acústica. Principal Legislação de Acústica. [Online]
<http://www.spacustica.pt/portuguese/texto/legislacao.html>.
26. Harris, Cyril M. *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*.
s.l. : McGraw Hill, 1991.

Anexos

A.1.Principal Legislação de Acústica

A.1.1. Ruído Ambiente

- Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, D.R. n.º 12, Série I de 2007-01-17. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro.
- Declaração de Retificação n.º 18/2007, D.R. n.º 54, Série I de 2007-03-16. Presidência do Conselho de Ministros de ter sido retificado o Decreto-Lei n.º 9/2007.
- Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de Agosto, D.R. n.º 147, Série I de 2007-08-01. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Altera o Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, que aprova o Regulamento Geral do Ruído.
- Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de Julho, D.R. n.º 146, Série I de 2006-07-31. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.
- Declaração de Retificação n.º 57/2006, D.R. n.º 168, Série I de 2006-08-31. Presidência do Conselho de Ministros de ter sido retificado o Decreto-Lei n.º 146/2006.
- Diretiva Comunitária n.º 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia.
- Decreto-Lei n.º 221/2006 de 8 de Novembro, D.R. n.º 215, Série I de 2006-11-08. Ministério da Economia e da Inovação. Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2005/88/CE, do Parlamento Europeu e do

Conselho, de 14 de Dezembro, que altera a Diretiva n.º 2000/14/CE, relativa à aproximação das legislações dos Estados membros em matéria de emissões sonoras para o ambiente dos equipamentos para utilização no exterior.

A.1.2. Exposição ao Ruído

- Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro, D.R. n.º 172, Série I de 2006-09-06. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2003/10/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído).
- Diretiva Comunitária n.º 2003/10/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro de 2003, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído). (Décima sétima diretiva especial na aceção do n.º 1 do artigo 16.º da Diretiva 89/391/CEE). O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia.

A.1.3. Vibrações no Corpo Humano

- Decreto-Lei n.º 46/2006 de 24 de Fevereiro, D.R. n.º 40, Série I-A de 2006-02-24. Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. Transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/44/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa às prescrições mínimas de proteção da saúde e segurança dos trabalhadores em caso de exposição aos riscos devidos a agentes físicos (vibrações).
- Diretiva Comunitária n.º 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002, relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). (Décima sexta diretiva especial na aceção do

n.º 1 do artigo 16.º da Diretiva 89/391/CEE). O Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia.

A.1.4. Acústica de Edifícios

- Decreto-Lei n.º 96/2008 9 de Junho, DR - nº 110 - série I-A de 2008-06-09 Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Aprova e Republica o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios.
- Decreto-Lei n.º 53/2014, DR n.º 69, série I, de 2014-04-08 Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Estabelece um regime excecional e temporário a aplicar à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída há pelo menos 30 anos ou localizados em áreas de reabilitação urbana, sempre que estejam afetos ou se destinem a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional.

B.1. Resultados das medições

B.1.1. Novo Hospital de Braga

Ponto 1

L _{Aeq} dB(A)	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
D_1_1	19.43	23.78	24.49	26.42	28.29	31.37	34.02	35.52	36.23	38.41	40.89	43.89	46.37	46.34	46.5	46.27	44.55	42.14	39.72	36.35	33.25	28.19	22.24	17.17
D_1_2	23.84	25.91	28.78	32.29	36.06	32.28	32.94	40.48	37.54	36.02	42.11	39.79	41.11	42.57	41.16	39.07	36.73	34.95	32.65	29.3	25.84	28.52	18.85	11.15
D_2_1	19.08	23.05	24.28	26.5	28.95	31.2	33.54	34.1	36.91	39.35	42.05	43.24	45.01	43.97	44.1	43.68	43.14	42.01	40.14	37.03	33.43	28.13	20.5	11.78
D_2_2	23.26	21.53	25.53	27.15	28.2	29.51	29.87	29.42	30.73	32.04	36.3	40.23	38.97	38.61	38.05	38.84	37.67	37.43	35.37	31.76	27.7	23.46	16.38	9.29
D_3_1	19.33	23.5	24.83	26.01	28.33	31.36	33.74	34.44	35.98	38.41	40.17	41.96	44.18	44.14	43.7	42.95	42.06	40.34	38.31	35.08	31.81	26.6	19.43	12.4
D_3_2	24.38	22.11	25.87	27.14	28.6	30.01	30.31	31.43	33.66	35.87	38.31	41.3	40.27	40.75	41.7	42.01	39.28	39.11	37.31	34.34	30.29	25.17	19.32	12.27
E_1_1	25.53	22.67	26.96	27.21	28.44	30.83	30.87	30.06	31.45	33.01	35.79	39.13	40.05	39.53	38.98	40.63	37.69	37.62	36.01	32.03	27.95	23.09	16.39	9.43
E_1_2	25.37	23.24	25.53	27.79	27.96	29.27	30.08	29.52	30.43	32.84	35.36	38.95	39.78	38.23	38.69	41.04	38.7	37.47	35.29	30.64	25.22	18.84	12.18	7.35
E_2_1	25.27	22.52	26.97	27.08	28.7	30.8	30.75	30.04	31.48	32.64	35.83	39.12	40.1	39.19	38.32	39.81	37.61	37.68	35.62	32.02	27.74	22.68	15.76	9.14
E_2_2	24.86	22.81	25.2	27.95	27.89	29.11	29.87	29.18	30.27	32.12	35.27	38.61	38.41	38.02	37.81	39.66	37.65	36.72	35.14	29.59	24.46	18.09	11.73	7.87
E_3_1	25.39	23.14	27.5	27.6	29.39	30.97	31.22	30.3	31.56	32.71	36.61	39.7	41.1	40.87	39.12	39.41	38.3	37.66	36.07	32.5	27.95	22.55	15.87	9.04
E_3_2	24.86	22.82	25.28	27.57	27.9	29.14	29.7	29.24	30.35	32.04	35.47	38.43	38.84	38.51	37.75	39.77	37.17	36.2	34.3	29.21	24.15	17.94	11.5	7.97
N_1_1	25	22.67	27.3	27.16	28.83	31.18	31.28	31.23	31.62	33.3	36.53	39.23	42.71	40.73	39.33	40.1	40.08	39.01	36.73	34.1	29.44	23.82	16.26	9.17
N_1_2	22.71	24.1	28.69	26.29	31.34	30.85	30.93	40.1	37.49	34.97	36.55	40.18	41.24	42.88	42.73	40.75	38.56	36.95	34.71	31.11	25.99	20.13	13.31	9.21
N_2_1	25.04	22.14	27.05	26.8	28.23	31.05	31.1	30.77	31.36	33.07	36.24	39.33	43.38	40.54	39.23	39.5	39.69	38.7	36.39	33.51	29.2	23.6	16.34	9.55
N_2_2	25.13	24.52	22.99	28.77	27.48	30.14	30.4	29.08	30.85	32.67	35.5	38.7	37.99	38.41	37.64	39.46	37.31	36.65	35.34	29.87	25.03	18.64	13.86	8.9
N_3_1	24.97	21.41	26.54	26.2	27.22	30.46	30.21	29.49	30.68	32.01	34.91	37.87	39.18	38.58	38.22	39.24	37.51	36.78	35.6	31.5	27.05	21.3	14.75	9.11
N_3_2	24.73	24.41	23.02	28.14	27.4	30.41	30.21	28.96	30.48	32.01	35.05	38.45	37.74	37.83	37.36	39.28	36.62	36.69	34.78	29.54	24.53	17.94	11.03	7.29

Instruções de Leitura:

D_1_1 – Diurno – Primeira medição – Primeira Campanha

E_2_1 – Entardecer – Primeira medição – Primeira campanha

N_2_2 – Noturno – Segunda medição – Segunda campanha

Níveis de pressão Sonora do Ruído Ambiente de Hospitais – Casos de Estudo

Ponto 2

L _{Aeq} dB(A)	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
D_1_1	21.6	22.88	24.57	27.02	28.94	31.59	34.53	37.82	42.36	41.72	41.91	44.55	45.16	45.98	45.72	45.59	44.55	43.61	42.39	39.61	37.37	32.99	27.15	19.31
D_1_2	21.85	24.99	28.34	27.68	27.86	29.84	31.28	30.83	32.81	35.23	39.64	41.63	43.59	42.47	42.65	41.72	41.09	41.3	38.68	36.4	33.85	31.04	28.9	16.32
D_2_1	21.73	22.62	24.89	27.01	28.45	31.31	33.4	38.28	40.97	40.54	41.77	44.41	45.06	46.02	46.47	46.71	45.63	44.06	42.11	38.74	36.35	32.16	26.72	21.14
D_2_2	21.79	24.37	25.03	27.38	27.62	28.63	31.95	31.27	33.18	35.1	40.41	43.1	43.43	43.05	42.98	42.51	42.63	40.95	39.67	37.11	33.99	28.3	22.7	12.84
D_3_1	23.42	23.71	25.25	28.96	29.29	31.97	33.6	36.46	37.32	39.71	40.75	42.37	43.78	45.1	45.36	46.07	45.02	43.42	41.83	40.07	37.98	34.69	28.37	21.63
D_3_2	20.95	21.77	24.65	25.87	27.12	28.75	30.14	31.32	31.36	33.6	37.67	39.61	39.24	40.43	41.12	41.65	40.72	39.99	37.84	35.58	32.75	30.43	24.38	17.02
E_1_1	20.37	23.29	25.62	26.31	27	27.39	27.09	28.53	29.75	32.75	36.55	38.66	38.95	39.8	38.31	39.98	36.14	35.74	33.21	28.78	24.72	19.98	14.09	8.06
E_1_2	19.94	21.37	23.21	25.48	25.41	25.89	26.31	27.18	28.32	31.6	35.65	38.93	39.54	38.87	37.36	38.83	36.15	35.34	32.34	28.13	23.08	16.76	10.56	7.13
E_2_1	20.11	22.61	24.79	25.8	26.74	26.58	26.58	28.08	29.27	32.26	35.86	38.46	39.54	38.93	37.86	38.93	36.88	36.29	33.35	29.74	25.44	20.65	14.92	8.53
E_2_2	20.07	22.02	24.1	25.58	25.56	26.1	26.46	27.01	28.33	31.73	35.75	38.91	40.01	39.19	37.63	38.77	36.47	35.44	32.29	28.17	23.16	16.85	10.64	7.14
E_3_1	19.8	21.64	24.15	25.46	26.07	26.12	26.65	27.18	28.91	32.44	35.63	37.96	39.71	38.36	37.2	38.32	37.13	36.52	33.48	30.12	25.98	21.26	15.43	8.72
E_3_2	20.25	22.86	23.99	25.58	25.58	25.97	26.35	26.73	28.64	31.8	36.01	38.97	40.05	39.25	37.72	38.61	37.06	35.62	32.33	28.45	23.09	16.88	10.87	7.25
N_1_1	18.9	22.8	23.24	24.58	25.96	25.11	26.85	28.23	29.78	32.16	35.7	38.18	37.62	38.43	37.46	39.51	36.63	35.68	33.39	29.13	25.18	19.6	12.82	7.81
N_1_2	18.82	21.69	22.63	25.49	24.59	26.21	26.96	27.22	29.12	32.58	36.02	38.19	37.49	37.23	36.53	38.61	36.36	34.93	31.81	27.47	22.09	16.68	12.04	8.12
N_2_1	20.04	25.41	25.53	25.57	27.28	25.65	27.04	27.9	29.3	32.13	36.1	39.38	38.16	39.14	38.13	40.17	36.42	35.68	34	29.91	26.02	20.66	13.67	7.95
N_2_2	18.66	20.31	22.75	25.62	25.11	26.4	26.24	27.1	28.89	32.12	35.85	38.26	38.6	37.64	36.9	38.16	36.51	35.11	31.8	27.38	21.93	16.3	10.6	7.1
N_3_1	19.92	24.09	25.3	25.71	27.56	26.5	27.8	28.78	29.96	32.68	36.54	39.65	39.49	39.28	38.15	40.1	36.48	35.79	33.84	30.04	26.21	21.09	14.28	8.27
N_3_2	18.85	20.75	22.61	25.37	24.65	25.96	25.77	26.48	28.71	32.31	36.09	38.28	38.62	37.86	36.96	38.02	36.72	35.24	31.81	27.4	22.18	16.73	10.9	7.09

Níveis de pressão Sonora do Ruído Ambiente de Hospitais – Casos de Estudo

Ponto 3

L _{Aeq} dB(A)	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
D_1_1	21.46	25.98	30.3	28.55	38.06	33.86	33.77	45.36	37.51	37.41	40.35	41.61	44.73	44.71	44.69	43.71	41.21	39.32	37.31	35.22	32.72	29.34	24.56	20.01
D_1_2	23.44	26.58	30.81	31.06	36.09	33.23	33.2	41.5	37.44	36.39	38.76	39.98	41.54	42.61	41.81	39.99	37.78	36.7	34.67	31.27	27.04	22	16.68	11.34
D_2_1	21.12	25.11	28.81	28.53	38.43	33.53	34.21	50.38	38.17	37.43	41.98	41.2	46.19	43.89	43.13	41.52	39.31	37.35	35.44	32.76	29.56	25.37	21.09	17.7
D_2_2	23.46	25.61	30.5	30.73	36.53	32.54	32.34	41.13	37.07	35.63	39.92	39.41	40.87	41.88	40.86	38.84	36.46	34.88	32.78	29.35	24.94	20.03	14.66	10.43
D_3_1	20.74	24.3	28.07	28.17	38.19	33.2	33.8	50.6	38.11	37.2	42.24	41.2	46.54	43.7	43.31	41.65	39.17	37.28	35.13	32.2	29.43	26.17	21.13	17.47
D_3_2	23.84	25.91	28.78	32.29	36.06	32.28	32.94	40.48	37.54	36.02	42.11	39.79	41.11	42.57	41.16	39.07	36.73	34.95	32.65	29.3	25.84	28.52	18.85	11.15
E_1_1	22.61	26.02	30.27	28.38	34.96	30.66	30.52	37.51	34.81	32.82	34.69	37.88	39.27	41.3	40.98	38.73	36.11	34.15	31.82	28.43	24.59	20.03	14.4	10.03
E_1_2	22.47	26	29.22	27.36	32.33	31.67	32.74	41.68	37.4	35.14	37.06	40.4	42.03	43.1	43.18	40.83	38.56	36.9	34.2	29.8	24.79	19.03	12.8	9.12
E_2_1	23.34	26.03	29.99	28.5	34.87	30.6	30.32	37.56	34.62	32.49	33.98	37.42	38.26	40.4	40	37.69	35.58	33.93	31.52	28.16	24.37	19.9	14.62	10.14
E_2_2	21.2	24.3	28.66	26.13	31.26	30.69	32.24	40.74	37.25	34.89	37.03	40.48	41.46	43.09	42.94	40.48	38.03	36.49	34.03	29.75	24.72	19.09	12.83	8.96
E_3_1	21.78	25.75	31.15	28.16	34.92	30.12	29.57	37.41	34.84	32.69	34.27	37.3	37.97	40.02	39.7	37.46	35.37	33.52	31.14	28.04	24.09	19.5	14.11	10.28
E_3_2	22.71	24.1	28.69	26.29	31.34	30.85	30.93	40.1	37.49	34.97	36.55	40.18	41.24	42.88	42.73	40.75	38.56	36.95	34.71	31.11	25.99	20.13	13.31	9.21
N_1_1	20.56	24.69	28.18	28.2	33.42	29.82	30.25	37.83	36.56	34.33	36.1	39.51	41.51	42.19	41.4	39.14	36.58	34.47	31.88	29.03	24.94	19.94	14.38	10.82
N_1_2	20.85	24.12	26.61	27.39	33.69	30.97	33.67	38.33	37.41	34.81	37.62	40.3	42.45	43.93	43.41	40.82	39.2	36.55	33.24	29.77	28.43	20.67	12.93	9.32
N_2_1	18.9	23.87	28.42	27.97	33.89	30.31	30.29	37.65	36.46	34.39	36.43	39.7	41.64	42.65	41.8	39.53	36.74	34.44	32.16	30.03	25.08	20.57	14.83	11.3
N_2_2	21.65	25.4	26.71	28.33	36.17	32.15	32.46	38.78	37.26	34.75	36.15	40.16	42.44	44.48	43.59	40.62	37.62	35.53	32.94	28.18	23.07	17.7	11.94	8.88
N_3_1	19.89	23.86	28.39	28.3	34.1	29.97	30.18	39.14	36.25	34.19	36.6	39.7	41.2	42.53	41.73	39.52	36.51	34.03	31.73	28.91	24.17	19.42	14.1	10.5
N_3_2	21.86	26.05	26.82	28.44	36.57	32.86	33.16	39.07	37.62	34.61	36.06	39.91	41.84	43.51	43.6	40.94	38.28	36.38	33.77	29.51	24.8	19.23	12.82	9

B.1.2. Novo Hospital de Vila Franca de Xira

Ponto 1

L _{Aeq} dB(A)	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
D_1_1	20.06	22.29	22.53	21.38	22.41	24.64	26.93	29.21	31.74	34.3	35.65	38.96	37.69	40.55	36.76	36.48	35.2	32.55	30.28	28.06	25.7	26.95	22.05	12.3
D_1_2	19.08	21.46	21.24	20.35	22.79	32.7	27.69	30.16	30.97	32.18	35.5	36.35	36.73	35.49	34.43	32.89	31.61	29.93	26.6	24.26	21.72	19.01	15.43	11.17
D_2_1	20.87	23.3	23.37	23.3	25.09	27.65	29.91	31.29	33.89	34.88	35.6	38.19	37.25	36.99	37.18	35.97	34.5	33.09	30.49	28.23	25.89	25.02	24.92	11.82
D_2_2	19.42	21.29	24.66	26.38	28.57	30.57	27.97	30.91	31.53	34.19	35.99	36.81	37.75	37.23	35.24	33.22	31.65	30.23	27.47	25.45	23.38	21.14	17.91	13.58
D_3_1	19.82	21.49	21.78	21.33	21.16	25.32	28.02	29.08	33.29	40.47	36.82	41.08	38.71	39.19	38.28	35.39	34.18	32.81	30.3	28.26	25.9	23.11	18.77	11.23
D_3_2	19.25	21.38	21.67	26.23	21.54	24.65	27.25	30.1	31.98	34.04	35.79	37.46	37.97	37.62	36.89	34.09	32.51	30.79	27.29	24.94	22.49	20.17	16.81	12.78
E_1_1	18.35	21.33	22.17	23.94	25.68	27.66	29.79	30.49	33.48	38.07	36.2	40.02	36.96	38.28	37.11	34.41	33.33	32	28.94	26.24	23.38	20.52	16.23	11.46
E_1_2	19.04	22.23	22.27	21.87	22.54	25.52	29.08	29.84	30.86	30.62	34.76	36.24	36.42	35.27	34.22	32.85	31.43	29.82	26.2	23.25	20.19	17.46	13.77	9.81
E_2_1	19.1	20.32	21.72	21.53	25.77	26.97	29.64	30.36	32.25	34	34.68	37.32	37.06	36.93	36.51	35.47	34.59	33.35	30.89	28.08	25.05	22.01	17.41	12.1
E_2_2	19.42	21.33	21.81	20	23.74	26.64	27.98	30.11	31.2	30.73	35.17	36.31	36.64	35.22	34.38	32.77	31.29	29.71	26.3	23.38	20.37	17.69	13.82	9.66
E_3_1	16.8	17.79	18.1	17.63	20.14	22.8	25.86	29.53	31.96	33.73	35.2	38.22	37.65	37.81	37.59	36.6	35.85	34.86	32.8	30.29	27.51	24.6	20.07	14.47
E_3_2	18.26	20.06	20.61	20.81	21.88	26.33	28.32	29.87	31.83	31.81	35.32	36.59	37.05	35.7	35.16	32.97	31.56	29.84	26.59	24.1	21.25	19.14	16.73	11.91
N_1_1	17.28	19.49	19.91	18.51	20.53	23.64	27.54	30.85	33.24	34.22	36.84	38.91	39.59	39.41	39.86	38.81	38.25	37.12	35.09	32.74	29.98	26.73	22.08	15.97
N_1_2	18.95	22.19	22.53	20.45	22.33	25.3	27.12	30.66	32.12	31.85	35.31	36.23	37.08	35.75	34.76	34.48	32.87	30.99	27.71	24.46	22.02	20.56	16.42	11.67
N_2_1	17.37	20.73	23.01	22.34	21.58	26.59	28.53	31.16	33.17	33.93	36.42	38.56	39.19	39.19	39.39	38.68	38.11	37.14	35.19	32.93	30.27	27.12	22.64	16.62
N_2_2	18.59	20.72	22	22.09	23.52	26.1	27.56	30.24	30.93	30.59	34.96	36.19	36.7	35.26	34.85	32.79	31.64	30.23	27.54	25.71	23.88	21.89	18.81	14.58
N_3_1	14.86	16.36	17.56	16.58	18.24	22.59	26.33	30.1	32.59	34.55	36.29	38.78	39.36	38.93	39.47	38.37	37.86	36.78	34.75	32.43	29.78	26.78	22.09	15.81
N_3_2	20.43	23.23	22.15	21.81	24.35	27.69	28.57	30.78	31.37	31.09	35.14	36.28	36.52	35.18	34.22	32.88	31.54	29.8	26.21	23.44	20.85	17.95	14.26	10.21

Instruções de Leitura:

D_1_1 – Diurno – Primeira medição – Primeira Campanha

E_2_1 – Entardecer – Primeira medição – Primeira campanha

N_2_2 – Noturno – Segunda medição – Segunda campanha

Níveis de pressão Sonora do Ruído Ambiente de Hospitais – Casos de Estudo

Ponto 2

L _{Aeq} dB(A)	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
D_1_1	25	27.38	25.73	27.63	29.33	30.45	32.12	34.43	38.73	38.09	39.49	41.45	40.86	40.57	41.08	40.91	41.04	38.08	34.75	32.68	30.76	27.41	24.06	19.62
D_1_2	25.58	29.37	27.32	29.04	30.83	31.95	33.1	35.19	37.94	38.91	40.54	41.84	42.77	42.02	42.07	42.02	41.47	39.41	36.65	34.7	30.95	26.83	21.47	15.46
D_2_1	24.79	28.43	26.45	26.72	28.72	29.66	30.6	33.39	38.92	38.81	39.49	40.74	40.37	40.42	40.98	41	41.07	38.54	35.62	32.58	30.24	27.33	22.71	17.84
D_2_2	27.28	28.37	27.46	29.14	30.95	32.46	33.19	35.28	39.63	39.98	40.64	42.33	42.98	42.43	42.01	41.57	41.06	37.8	34.74	31.67	27.8	24.14	20.19	19.94
D_3_1	26.79	27.36	26.72	26.67	28.31	30.73	30.9	34.43	38.78	38.23	39.55	41.45	41.25	41.58	41.79	41.38	41.14	38.41	35.31	32.61	30.22	27.19	24.11	19.77
D_3_2	23.87	23.71	23.74	26.33	27.37	29.06	29.89	33.42	37.21	37.86	38.37	40.16	41.05	40.45	40.65	40.47	40.49	38.14	34.43	31.38	28.01	24.17	19.97	15.4
E_1_1	18.03	19.98	22.42	31.27	29.21	27.88	27.82	31.24	37.02	35.21	36.9	39.16	38.25	37.95	38.44	37.71	38.72	36.13	32.77	29.87	27.85	24.11	20.36	16.31
E_1_2	27.57	24.94	23.6	25.52	26.1	27.37	28.04	31.61	36.78	36.56	37.86	39.25	37.52	38.03	38.14	38.51	38.94	36.56	31.9	29.54	27.15	23.73	19.99	16.32
E_2_1	19.4	22.02	23.7	25.11	26.01	27.81	29.25	31.41	36.73	35.09	36.61	39.09	38.12	37.66	38.06	37.3	38.47	35.83	32.06	29.76	27.95	24.67	20.89	15.68
E_2_2	22.48	25.41	24.4	25.69	28.06	29.98	29.43	34.08	37.53	36.31	38.86	39.21	38.28	38.98	39.05	38.88	40.33	37.24	32.36	29.82	26.72	22.19	17.73	13.34
E_3_1	20.61	24.35	23.28	23.81	26.09	28.06	28.06	30.57	36.4	35.56	37.1	39.44	38.76	38.25	38.73	38.24	39.06	36.48	33.29	30.86	28.67	24.95	20.83	16.5
E_3_2	20.05	21.45	22.54	23.4	25.41	26.94	27.78	32.99	37.39	36.26	38.33	38.87	37.8	38.3	38.18	37.75	38.8	36.25	31.13	28	25.59	22.15	18.39	13.69
N_1_1	18.29	20.47	20.23	21.14	22.12	23.39	25.41	29.43	36	34.71	36.12	37.99	37.43	37.63	37.96	36.85	36.54	35.04	30.9	28.07	26.82	22.41	18.16	15.3
N_1_2	20.28	23.42	22.53	24.03	25.79	27.35	27.83	29.57	36.05	36.19	37.12	38.01	36.9	37.31	37.25	36.95	37.94	35.52	30.01	26.75	24.55	20.16	16.68	13.26
N_2_1	18.72	17.96	20.98	20.16	19.96	22.8	25.72	28.67	35.18	33.77	34.58	36.63	36.62	36.76	37.21	36.42	35.5	33.79	31.3	28.73	27.13	22.98	17.99	14.3
N_2_2	21.16	23.26	24.38	24.85	25.46	27.01	27.35	30.45	36.39	36.24	37.64	38.64	37.66	37.8	37.72	37.63	38.66	36	31.31	28.34	25.9	21.69	17.17	12.33
N_3_1	16.99	18.3	19.56	21.82	18.65	20.91	24.72	27.82	34.24	31.48	31.79	34.58	34.74	35.15	34.95	34.48	33.69	32.21	30.49	28.43	27.25	23.63	19.87	17.07
N_3_2	20.55	24.27	23.9	23.95	25.62	26.67	27.44	30.12	36.48	35.62	37.52	37.95	37.3	37.68	37.57	37.34	38.76	35.9	30.89	27.3	25.04	20.61	16.33	12.37

Níveis de pressão Sonora do Ruído Ambiente de Hospitais – Casos de Estudo

Ponto 3

L _{Aeq} dB(A)	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz
D_1_1	23.1	26.68	25.93	23.84	25.6	28.41	35.96	37.29	33.66	36.65	38.12	40.77	40.3	39.67	40.27	38.87	37.95	37.39	33.52	31.08	27.94	24.82	20.78	15.85
D_1_2	27.95	25.42	23.72	24.94	25.3	29.34	34.32	36.61	35.36	36.68	38.98	40.98	41.65	41.09	41.62	40.03	39.21	38.23	33.73	31.19	26.84	22.71	17.94	13.97
D_2_1	22.03	24.51	21.99	23.43	25.42	28.36	36.07	37.25	33.45	36.88	38.25	40.82	40.37	39.65	40.49	39.09	38.31	37.73	34.06	31.7	28.83	25.48	21.92	16.81
D_2_2	25.2	23.84	24.99	24.08	27.22	29.86	35.36	36.75	35.47	36.59	38.93	40.97	41.61	41.29	41.56	40.06	38.94	37.84	33.95	31.17	27.62	23.21	18.87	12.97
D_3_1	23.99	28.75	23.88	24.65	26.65	33.18	36.6	37.45	34.31	37.08	38.6	40.95	40.6	39.87	40.55	38.89	37.96	37.48	33.56	30.87	27.83	24.34	20.33	15.29
D_3_2	26.26	25.95	26.48	24.59	26.53	29.78	34.98	36.9	35.98	37.25	39.48	41.31	41.89	41.41	41.81	40.29	39.81	38.83	35.45	32.45	27.78	23.52	18.63	12.9
E_1_1	18.28	21.73	20.51	19.89	23.38	28.12	32.97	34.93	32.19	35.27	37.91	39.59	39.17	38.31	39.08	37.14	36.64	36.28	31.63	28.61	25.01	21.31	17.09	13.33
E_1_2	21.47	23.08	21.09	21.16	24.65	27.17	31.44	34.13	33.58	35.63	37.03	39.75	40.21	39.14	39.6	37.83	36.31	35.78	29.95	26.75	22.58	18.68	13.72	11.66
E_2_1	17.21	18.99	17.86	17.25	21.15	26.61	32.55	34.57	31.6	34.52	37.7	39.45	38.85	37.97	38.39	36.61	36.33	36.01	31.23	28.05	24.41	20.71	16.53	12.82
E_2_2	17.42	16.87	17.57	19.41	22.15	25.66	30.79	33.66	33.08	35.26	36.58	39.4	39.68	38.72	39.16	37.12	36.32	36.08	29.18	25.77	21.51	17.58	13.06	9.41
E_3_1	19.08	21.45	19.05	20.18	23.56	27.2	32.58	34.58	31.92	33.34	37.72	39.61	38.74	38.12	37.87	36.78	36.38	35.96	31.43	28.13	24.6	21.03	16.84	13.03
E_3_2	18.49	21.58	18.11	18.8	21.99	25.57	31.17	33.86	32.85	35.2	36.29	39.13	39.53	38.35	38.84	36.49	35.24	34.94	28.77	25.85	21.79	18.35	14.05	10.45
N_1_1	16.02	18.34	16.58	16.68	20.16	25.37	32.56	34.48	31.53	32.52	37.74	39.57	38.69	37.58	36.41	35.8	36.31	36.34	30.38	27.02	23.25	19.51	15.5	12.57
N_1_2	19.42	21.07	19.79	21.99	23.13	26.56	31.67	34.2	32.91	33.24	36.57	39.39	39.02	38.01	37.27	36.35	35.69	36.45	30.12	27.67	22.62	19.27	15.3	10.92
N_2_1	15.29	17.66	17.76	16.49	20.12	25.04	32.4	34.3	31.35	32.47	37.49	39.4	38.61	37.42	36.21	35.67	36.42	36.4	30.32	26.96	23.13	19.43	15.4	12.5
N_2_2	18.37	19.46	18.99	19.82	22.32	25.94	31.16	33.81	32.72	32.55	36.12	39.13	38.81	37.68	36.89	35.87	36.42	36.43	29.77	26.52	22.34	18.4	13.69	9.71
N_3_1	13.12	15.18	16.26	16.87	19.49	25.1	32.44	34.11	31.05	32.25	37.6	39.52	38.6	37.43	36.07	35.5	36.34	36.47	30.33	26.92	22.77	18.93	15.11	12.51
N_3_2	20.11	21.78	21.47	21.96	22.83	26.07	31.53	34.09	33	33.2	36.59	39.51	39.1	38.16	37.4	36.76	36.71	36.13	30.58	27.24	22.84	19.14	15.14	10.92